أساسيات الكهرباء

بدون تعقيد

إعداد و تأليف

أ.م.د يحيي حمدي محمد إبراهيم البشار

أساسيات الكهرباء بدون تعقيد

إعداد و تأليف

أ.م.د يحيي حمدي محمد إبراهيم البشار

عضو اللجنة الوطنية للفيزياء بأكاديمية البحث العلمي
بجمهورية مصر العربية

خبير تكنولوجيا الليزر من نقابة المهن العلمية بالقاهرة
بجمهورية مصر العربية

عضوسابق بمجلس شعبة الطبيعة والفلك لمجلس نقابة المهن
العلمية بالقاهرة بجمهورية مصر العربية

2026

إشراف عام: محمد الديب

الكتاب : أساسيات الكهرباء بدون تعقيد

إعداد وتأليف : أ.م.د يحيي حمدي محمد إبراهيم البشار

الطبعة الأولى : يوليو 2026

لوحة الغلاف : تصميم الربيع

الإخراج الداخلي:

مطابع الربيع – الزقازيق – محافظة الشرقية

01064063063 ـ 0552379677

رقم الإيداع 2026/16318

الترقيم الدولي 978/977-95-7649-7

مسلسل	المحتوى	ص
1	الفصل الأول	5
2	الفصل الثاني	7
3	الفصل الثالث	19
4	الفصل الرابع	26
5	الفصل الخامس	36
6	الفصل السادس ملف التحريض (الملف الحثّي) كيفية صناعة ملف التحريض ملفات الشرر الحجاب الاهتزازي جهاز الإرسال جهاز الاستقبال زر الكربون كيفية عمل الهاتف	42
7	الفصل السابع المصابيح مصابيح القوس الكهربائي المصابيح المتوهجة أسلاك الإنارة الكهربائية أسلاك المصابيح المتوهجة	56

	المفاتيح الأسلاك على الدينامو	
8	الفصل الثامن المحرك	90
9	الفصل التاسع البطاريات الأولية البطاريات ذات الدائرة المغلقة العمل الذي تقوم به البطاريات بطاريات الإنارة الكهربائية التوصيل على التوازي التوصيل على التوالي المتعدد بطارية إديسون الأولية البطاريات الثانوية أو البطاريات القابلة للشحن نوعان من البطاريات بطارية الرصاص القابلة للشحن البطارية القلوية القابلة للشحن توصيل البطاريات القابلة للشحن تيار الشحن	97
10	المراجع المستخدمة	130
11	نبذة عن المؤلف	132

الفصل الأول

نحن الآن نحصل على الكثير من وسائل الراحة والتسهيلات بفضل استخدام الكهرباء، لدرجة أن جميع الشباب يجب أن يتعلموا شيئًا عن هذه القوة الرائعة، من أجل فهم بعض المبادئ التي نُطبِّق عمليًا.

أنتم جميعًا تعرفون أننا لدينا التلغراف، والهاتف، والإنارة الكهربائية، والمحركات الكهربائية في عربات الشوارع، وأجراس الكهرباء، وغيرها من وسائل الراحة العديدة التي توفرها لنا الكهرباء.

الجميع يعرف أنه وفقًا لقوانين الضرب، مرتين اثنين تساوي أربعة، وأن مرتين اثنين لا يمكن أن تكون إلا أربعة. حسنًا، هذه الاختراعات المفيدة قد تحققت من خلال تطبيق قوانين الكهرباء بطرق معينة، معروفة جيدًا، بحيث تمكّننا من إرسال رسالة إلى أصدقائنا الغائبين على أي مسافة في بضع لحظات، والتحدث معهم على مسافة بعيدة، وإنارة منازلنا وشوارعنا بالضوء الكهربائي، والقيام بالعديد من الأشياء المفيدة الأخرى بسرعة وسهولة.

لكن يجب أن تتذكروا أننا لا نعرف ما هي الكهرباء نفسها حقًا. نحن نعرف فقط كيفية توليدها بطرق معينة، ونعرف أيضًا ما يمكننا فعله بها عندما نحصل عليها.

في هذا الكتاب الصغير، سنحاول شرح الطرق المختلفة التي تُستخرج بها الكهرباء، وكيفية تطبيقها لإنتاج النتائج المفيدة التي نراها من حولنا.

سنحاول جعل هذا الشرح بطريقة تشجع الكثير منكم على دراسة هذا الموضوع المهم والمثير للاهتمام بعمق أكبر.

في الكتب المتقدمة عن الكهرباء هناك العديد من المصطلحات التقنية التي يصعب فهمها بعض الشيء، لكن في هذا الكتاب سيكون من الضروري استخدام عدد قليل فقط من المصطلحات البسيطة، والتي من الجيد أن تتعلموها وتفهموها قبل المتابعة.

الفصل الثاني

التعاريف

أكثر ثلاثة مقاييس استخدامًا في الكهرباء هي:

- الفولت
- الأمبير
- الأوم

وسنشرح هذه بالترتيب.

الشكل 1

الفولت –يمكن فهم هذا المصطلح بشكل أفضل من خلال مقارنة مع شيء تعرفونه جميعًا. لنفترض أن لدينا خزانًا يحتوي على مئة جالون من الماء، ونريد تفريغه عبر أنبوب نصف بوصة في أسفل الخزان. لنفترض أيضًا أننا نريد جعل

الماء يتدفق إلى الأعلى، ولهذا السبب تم ثني الأنبوب إلى الأعلى كما في الشكل 1.

إذا فتحت الصنبور، فسيتدفق الماء إلى الخارج وإلى الأعلى كما في الشكل 1.

الشكل 2

سبب تدفق الماء إلى الأعلى هو وزن الماء أو ضغطه في الخزان. يُحسب هذا الضغط بوحدة الباوند لكل بوصة مربعة من الماء.

الآن، إذا وُضع الخزان على سطح المنزل وتم توصيل الأنبوب إلى الأرض كما هو موضح في الشكل 2، فإن الماء

سيتدفق إلى الأعلى بشكل أكبر بكثير، لأن هناك ضغطًا أكبر نتيجة لارتفاع الأنبوب.

إذاً، كما ترون، يتم قياس قوة أو ضغط الماء بالباوند، ولذلك يعتبر الباوند وحدة قياس الضغط أو القوة للماء. أما في الكهرباء، فإن وحدة الضغط أو القوة تُسمى الفولت.

هذه الكلمة "فولت" لا تعني أي وزن، كما تعني كلمة "باوند" وزنًا. أنتم جميعًا تعرفون أنه إذا كان لديكم باوند من الماء، فلا بد من وجود شيء يحتفظ به لأنه له وزن، وبالتالي يشغل مساحة معينة. أما الكهرباء نفسها فلا وزن لها، ولذلك لا يمكن أن تشغل أي مساحة.

عندما نريد توصيل الماء إلى منزل أو مبنى آخر، نفعل ذلك بواسطة أنابيب مجوفة، عادةً مصنوعة من الحديد. هذه هي الطريقة التي يُوصل بها الماء إلى المنازل في المدن والقرى، بحيث يمكن سحبه واستخدامه في أي جزء من المنزل. وعادةً ما يأتي الإمداد الرئيسي من خزان يقع على أرض مرتفعة لإعطاء الضغط اللازم لدفع الماء إلى أعلى المنازل. إذا لم تُتخذ مثل هذه الترتيبات، فلن نحصل على الماء في غرف النوم، لأن الماء، كما تعلمون، لا يرتفع فوق مستواه إلا بالقوة.

الماء لا يمكن أن يهرب طالما لا توجد ثقوب أو تسريبات في الأنابيب الحديدية، ولكن إذا وُجدت أي شقوق صغيرة فيها، سيتسرب الماء.

في الكهرباء نجد تأثيرات مشابهة.

يتم توصيل الكهرباء إلى المنازل بواسطة أسلاك مغطاة، أو معزولة، بمواد مختلفة، مثل المطاط على سبيل المثال. تمامًا كما يمنع الحديد في الأنابيب الماء من التسرب، تمنع العوازل في الأسلاك الكهرباء من التسرب.

الآن، إذا قمنا بزيادة ضغط الماء في الأنابيب العادية بشكل كبير، فلن تتحمل الأنابيب الضغط وستنفجر، وسيهرب الماء. الأمر نفسه يحدث في الكهرباء. إذا زاد عدد الفولتات بشكل كبير، فلن تكون العوازل كافية لاحتوائها، وستهرب الكهرباء عبر الغطاء أو العزل للسلك.

من السهل جدًا إيقاف تدفق الماء من صنبور عادي بوضع إصبعك على الفتحة. بما أن الماء لا يمكنه التدفق، سيكون إصبعك ما نسميه عازلًا، وسيحتفظ الماء داخل الأنبوب.

لدينا نفس التأثيرات في الكهرباء. إذا وضعنا مادة تعتبر عازلًا، مثل المطاط، حول سلك كهربائي أو في مسار التيار الكهربائي، فإن الكهرباء، التي تتأثر بفولتات الضغط، لا يمكنها الهروب، لأن العزل يمنعها من ذلك، تمامًا كما يمنع

الحديد في الأنبوب تسرب الماء. إذن، كما ترون، الفولت لا يمثل الكهرباء نفسها، بل يمثل الضغط الذي يدفعها عبر السلك.

هناك كلمات وتعبيرات أخرى تُستخدم أحيانًا مع كلمة "فولت"، مثل "الضغط" و"الشدة". على سبيل المثال، يمكننا القول أن آلة دينامو معينة لها قوة دافعة كهربائية قدرها 110 فولت، أو أن شدة خلية بطارية كانت 2 فولت، وهكذا.

يمكننا ذكر مثال آخر، ضغط البخار في الغلاية، الذي يُقاس أو يُحسب بالباوند، تمامًا كما يُقاس ضغط الماء. لذلك، يمكن القول إن ضغط بخار قدره 100 باوند مستخدم عبر محرك بخاري لتشغيل دينامو يمكن تحويله إلى كهرباء بضغط 100 فولت.

الأمبير –الآن، عند مقارنة ضغط الماء بالباوند مع ضغط الكهرباء بالفولت، استخدمنا خزان ماء يحتوي على 100 جالون، ورأينا أن هذا الماء له قوة أو ضغط للأسفل بالباوند. لنرَ الآن ما كان هذا الضغط يؤثر فيه.

كان يدفع كمية الماء لتتدفق إلى الأعلى عبر نهاية الأنبوب. بما أن كمية الماء كانت 100 جالون، فلا يمكن دفعها كلها مرة واحدة خارج الأنبوب. ضغط الماء بالباوند على 100

جالون سيدفعها بمعدل معين، لنفترض، جالون واحد في الدقيقة.

هذا سيكون معدل تدفق الماء خارج الخزان.

إذن، كما ترون، نجد قياسًا ثانيًا يجب أخذه في الاعتبار عند تفريغ الخزان. الأول كان القوة، أو ضغط الباوند، والثاني هو معدل خروج كمية الماء في الدقيقة الواحدة بواسطة هذا الضغط.

هذا القياس الثاني يعلمنا أن كمية معينة ستخرج من الأنبوب في وقت معين إذا كان الضغط ثابتًا، وتلك الكمية تعتمد بالطبع على حجم الأنبوب أو مقاومة الاحتكاك فيه.

في الكهرباء، تعمل فولتات الضغط على دفع كمية التيار لتتدفق عبر الأسلاك بمعدل معين لكل ثانية، ويُقاس معدل تدفقه بالأمبير. على سبيل المثال، لنفترض أن مصباحًا كهربائيًا يحتاج إلى ضغط 100 فولت وتيار قدره أمبير واحد لإضاءته، يجب أن نوفر تيارًا كهربائيًا يتدفق بمعدل أمبير واحد، يتأثر بقوة دافعة كهربائية قدرها 100 فولت.

ستلاحظون، إذن، أنه بينما لا يمثل الفولت أي كهرباء، بل فقط الضغط، فإن الأمبير يمثل معدل تدفق التيار نفسه.

يجب أن تتذكروا أن هناك عدة كلمات تُستخدم أحيانًا مع كلمة "أمبير"، على سبيل المثال، قد نقول أن المصباح يحتاج إلى "تيار" قدره أمبير واحد، أو أن الدينامو يعطي "كمية" 20 أمبير.

الأوم –تعلمتم أن الضغط سيخرج كمية الماء بمعدل معين عبر الأنبوب. الآن، لنفترض أننا ركبنا أنبوبين لتصريف الماء من الخزان، سيتدفق الماء أسرع بكثير، أليس كذلك؟ إذا حاولنا إيجاد سبب لذلك، سنرى أن الأنبوب يمكنه، عند ضغط معين، السماح بكمية محددة من الماء بالمرور في الوقت نفسه.

لذلك، كما ترون، هذا الأنبوب سيُظهر مقدارًا معينًا من المقاومة لعبور كمية الماء الكلية، وسيسمح فقط بكمية محدودة بالمرور في الوقت نفسه. ولكن إذا قمنا بتركيب أنبوبين أو أكثر على الخزان، أو أنبوب كبير واحد، فسيصبح تدفق الماء أسهل، وبالتالي تقل المقاومة الكلية لعبور الماء، وسيُفرغ الخزان بسرعة.

كما تعلمون، الماء له مادة ووزن ويشغل مساحة، بينما الكهرباء لا مادة لها ولا وزن، لذلك لا يمكنها شغل أي مساحة؛ لذلك لنقل الكهرباء من مكان لآخر لا نحتاج إلى أنبوب مجوف، بل نستخدم سلكًا صلبًا.

تملك هذه الأسلاك الصلبة مقدارًا معينًا من المقاومة لمرور الكهرباء، تمامًا كما للأنبوب مقاومة للماء، وكما هو الحال مع الماء، فإن تأثير المقاومة على مرور الكهرباء يكون أكبر إذا مر تيار أكبر مقارنة بتيار أصغر.

إذا أردتم نقل كمية من الكهرباء لمسافة معينة، واستخدمتم سلكًا، سيكون هناك مقدار معين من المقاومة في ذلك السلك لعبور التيار، ولكن إذا استخدمتم سلكين أو أكثر من نفس الحجم، أو سلكًا كبيرًا واحدًا، ستقل المقاومة كثيرًا وسيتدفق التيار بسهولة أكبر.

تخيلوا أنه بدلاً من تفريغ خزان الماء من السطح عبر الأنبوب، قمنا بإفراغه كله دفعة واحدة إلى الأرض. سيكون الماء قد أُفرغ بسرعة وبطريقة قصيرة، أليس كذلك؟ هذا واضح جدًا، لأنه لا توجد مقاومة لعبوره إلى الأرض.

حسنًا، لنفترض أن لدينا بطارية كهربائية تعطي كمية معينة من التيار، لنقل 5 أمبير، وقمنا بوضع سلك كبير لا يقدم أي مقاومة لتلك الكمية ووصلناه من طرف البطارية إلى الطرف الآخر، سيتدفق تيار كبير على الفور وسيستنزف البطارية. هذا ما يُسمى الدائرة القصيرة، لأنه لا توجد مقاومة تقريبًا، ويوفر للتيار مسارًا سهلاً للهروب. تذكروا، الكهرباء دائمًا

تسلك الطريق الأسهل. ستسلك جميع المسارات المتاحة، ولكن أكبر كمية دائمًا ستسلك الطريق الأسهل.

نظرًا لأن موضوع المقاومة يعد من أهم المواضيع في الكهرباء، سنعطيكم مثالًا آخر، لأنه إذا تمكنتم من فهم هذا المبدأ جيدًا، فسيساعدكم ذلك على استيعاب الموضوع بأكمله بسهولة أكبر في دراساتكم المستقبلية.

بدأنا بالمقارنة مع خزان يحتوي على 100 جالون من الماء، يتم تفريغه عبر أنبوب نصف بوصة، وأوضحنا لكم أن ضغط الباوند سيدفع كمية الجالونات عبر الأنبوب. عندما يُفتح الصنبور لأول مرة، سيتدفق الماء إلى ارتفاع كبير، ولكن مع انخفاض مستوى الماء في الخزان، يقل الضغط، وبالتالي لن يتدفق الماء إلى نفس الارتفاع.

إذا أردنا الحفاظ على تدفق الماء إلى الارتفاع نفسه الذي بدأ به، يجب علينا الحفاظ على امتلاء الخزان، بحيث يكون ضغط الباوند ثابتًا طوال الوقت. ولكن إذا أردنا أن يتدفق الماء أعلى، يجب استخدام وسائل أخرى، مثل المضخة القسرية، للحصول على ضغط أكبر.

الآن، إذا استخدمنا ضغطًا عاليًا جدًا، سيدفع كمية الماء بسرعة أكبر عبر الأنبوب، مما سيؤدي إلى سخونة الماء

بسبب مقاومة الأنبوب لمرور تلك الكمية تحت ضغط كبير جدًا.

الأمر نفسه ينطبق على الكهرباء، باستثناء أن السلك نفسه قد يسخن، ويتم تحويل جزء من الكهرباء إلى حرارة ويفقد. إذا كان السلك صغيرًا جدًا بالنسبة لضغط الفولتات وتيار الأمبيرات، فإن مقاومة السلك ستُتغلب، وسيصبح السلك شديد الاحمرار وربما يذوب. لذلك، يكون الكهربائيون حذرين جدًا عند حساب مقاومة الأسلاك قبل تركيبها، خاصة عندما تكون مخصصة للإنارة الكهربائية، لتوفير التيار اللازم دون أن يتحول الكثير من الكهرباء إلى حرارة ويصبح عديم الفائدة للغرض المطلوب.

وحدة المقاومة تسمى الأوم)وتُنطق مثل كلمة "هوم" بدون الحرف."h")

جميع الأسلاك لها مقاومة معينة لكل قدم، حسب طبيعة المعدن المستخدم وحجم السلك ـــ أي كلما كان السلك أدق، زادت المقاومة بالأوم لكل قدم.

الماء والكهرباء يتدفّقان تحت ظروف متشابهة جدًا ـــ أي أنهما يحتاجان إلى قناة أو موصل، ولكليهما يتطلب الضغط لدفعه إلى الأمام. الماء، كونه مادة ملموسة، يحتاج إلى موصل مجوف؛ بينما الكهرباء، لكونها غير ملموسة، ستتدفق

عبر موصل صلب. الحديد في أنبوب الماء وعزل السلك الكهربائي يخدمان نفس الغرض، وهو منع التسرب نتيجة الضغط الممارس.

هناك مصطلح آخر يجب ذكره فيما يتعلق بالمقاومة، لأنه مرتبط بها ارتباطًا وثيقًا، وهو المعارضة .لا يوجد مصطلح كهربائي عام بهذا الاسم، لكن بما أنه سيفهم بسهولة من معنى الكلمة نفسها، فقد استخدمناه هنا.

دعونا نعطي مثالًا لما تعنيه المعارضة عند تطبيقها على الماء. ربما يعرف الجميع أن العجلة المائية هي عجلة تحتوي على شفرات كبيرة أو "مجاذيف" حول محيطها.

عندما يحاول الماء دفع طريقه، يصطدم بإحدى هذه المجاذيف، فيواجه معارضتها، لكنه يتغلب عليها بدفع المجذاف بعيدًا. وهذا يجلب المزيد من المعارضة على شكل مجذاف آخر، يدفعه الماء أيضًا بعيدًا. وهكذا يستمر الأمر، يتغلب الماء على هذه المعارضة ويدير العجلة، وبذلك يمكننا الاستفادة من الماء لأداء عمل مفيد.

يجب أن تتذكروا، مع ذلك، أنه لا يمكننا الحصول على هذا العمل إلا بوضع معارضة في مسار ضغط وكمية الماء.

ينطبق نفس المبدأ على الكهرباء. نصنع الكهرباء بطرق مختلفة، وللحصول على عمل مفيد، نضع في مسارها

الأدوات أو المصابيح أو الآلات التي تقدم مقدارًا مناسبًا من المقاومة أو المعارضة لمرورها، وبالتالي نحصل من هذه القوة الرائعة على العمل الذي نريد إنجازه.

لقد تعلمتم أن ثلاثة مقاييس مهمة في الكهرباء هي كما يلي:

- الفولت :وحدة القياس العملية للضغط؛
- الأمبير :وحدة القياس العملية لمعدل التدفق؛ و
- الأوم :وحدة القياس العملية للمقاومة.

الفصل الثالث

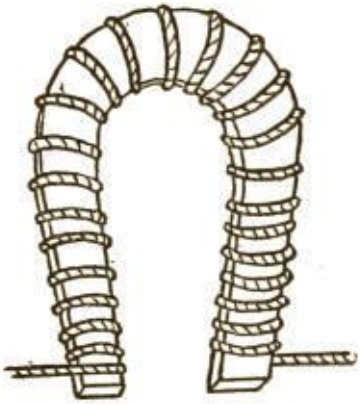
المغناطيسية

الآن سنحاول أن نشرح لكم شيئًا عن المغناطيسات والمغناطيسية. هناك قلة قليلة جدًا من الأولاد لم يروا أو يلعبوا بالمغناطيسات العادية، على شكل حدوة حصان، والتي تُباع في جميع محلات الألعاب وكذلك عند البائعين المتخصصين في الأدوات الكهربائية.

كما تعلمون، فإن هذه المغناطيسات تجذب أي شيء مصنوع من الحديد أو الصلب وتمسكه بإحكام، لكنها لا تؤثر على النحاس أو النحاس الأصفر أو الزنك أو الذهب أو الفضة، ومع ذلك لا يوجد شيء مرئي يمكن أن يفسر هذا التأثير.

ستلاحظون، إذن، أن المغناطيسية تشبه الكهرباء؛ لا يمكننا رؤيتها، لكن يمكننا التأكد من وجودها لأنها تُحدث تأثيرات معينة. وهناك شيء غريب آخر—المغناطيسية تولد الكهرباء، والكهرباء تولد المغناطيسية. يبدو أن هذا نوع من العلاقة العائلية المريحة، وبفضل هذا الترابط الوثيق نستطيع الحصول على العديد من الأشياء الرائعة باستخدام الكهرباء.

سنوضح الآن كيف تُنتج الكهرباء المغناطيسية، وعندما نصل إلى موضوع الإنارة الكهربائية، سنشرح كيف تُنتج المغناطيسية الكهرباء.



الشكل 3

أسهل طريقة لشرح كيف تُنتج الكهرباء المغناطيسية هي معرفة كيفية صناعة المغناطيسات. لنفترض أننا أردنا صناعة مغناطيس على شكل حدوة حصان، كما ذُكر أعلاه؛ سنأخذ قطعة من الصلب ونلف حولها سلكًا نحاسيًا رفيعًا، بدءًا من أحد طرفي الحدوة وحتى نهاية الطرف الآخر. عندها سيكون لدينا طرفان للسلك كما هو موضح في الرسم (الشكل 3).

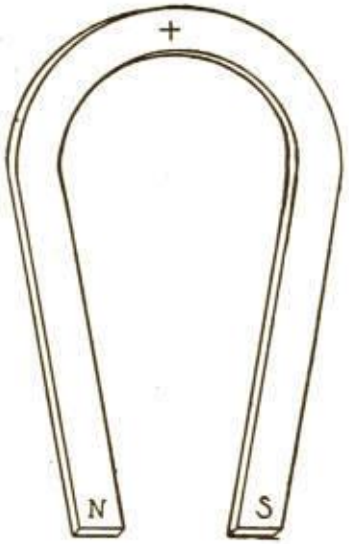
نربط هذين الطرفين ببطارية كهربائية، لنقل بجهد 2 فولت، حينها ستسير أمبيرات التيار الكهربائي عبر السلك، وفي هذه

العملية تؤثر الكهرباء على الصلب بحيث يتحول إلى مغناطيس، مثل الذي لعبتم به سابقًا. يتم "قطع" التيار، أي إيقافه عدة مرات أثناء صناعة المغناطيس بهذا النوع، ثم يُفصل السلك عن البطارية ويُلف عن قطعة الصلب، تاركًا الحدوة حرة من السلك، كما رأيتموها. الآن أصبحت هذه الحدوة مغناطيسًا دائمًا، أي أنها ستجذب دائمًا وتمسك قطع الحديد والصلب.

الآن، إذا قمتم بنفس الشيء مع حدوة مصنوعة من الحديد الطري بدلًا من الصلب، فلن تصبح مغناطيسًا بعد توقف مرور التيار الكهربائي عبر الأسلاك، رغم أن قطعة الحديد كانت أقوى مغناطيس أثناء مرور الكهرباء حولها.

المغناطيس المصنوع من الصلب يُسمى مغناطيسًا دائمًا، وطرفاه أو "أقطابه" يُسميان الشمال والجنوب .عادةً ما توضع قطعة حديد أو صلب فضفاضة، تُسمى العضادة، عبر الأطراف، وهي تتميز بخاصية الحفاظ على قوة المغناطيس ومنعه من الضعف، وبالتالي الاحتفاظ بشدة المغناطيس. أقوى جزء في المغناطيس يكون عند الأقطاب، بينما عند النقطة المشار إليها بعلامة + (وتُسمى النقطة المحايدة (يكاد لا يوجد أي مغناطيسية.

من الجيد تذكر وظيفة العضادة، حيث سنعود إليها عند وصف آلات الدينامو. والمغناطيسات المصنوعة من الحديد تُسمى مغناطيسات كهربائية لأنها تظهر المغناطيسية فقط عند مرور أمبيرات التيار الكهربائي حولها. لها أيضًا قطبان، شمال وجنوب، مثل المغناطيسات الدائمة. تُستخدم المغناطيسات الكهربائية في جميع الأدوات الكهربائية تقريبًا، ليس فقط لأنها أقوى من المغناطيسات الدائمة، بل لأنها يمكن جعلها تعمل فورًا بمرور التيار الكهربائي عبرها في اللحظة المناسبة، كما سترون عند شرح بعض الأدوات الكهربائية المستخدمة لإنتاج تأثيرات معينة. (الشكل 4)



الشكل 4

بالطبع، هناك العديد من الأشكال المختلفة التي تُصنع بها المغناطيسات. أبسطها هو المغناطيس القضيب، وهو ببساطة قطعة مسطحة أو مستديرة من الحديد أو الصلب.

لنفترض أنك صنعت مغناطيسًا من قطعة مسطحة من الصلب ووضعّت فوقها ورقة، ثم رششت فوق الورقة برادة الحديد، سترى أن البرادة ترتب نفسها كما هو موضح في الرسم التالي (الشكل 5).

سترتب البرادة نفسها دائمًا بهذا الشكل، بغض النظر عن حجم المغناطيس، صغيرًا كان أم كبيرًا. وإذا قمت بتقطيعه إلى قطعتين أو نصف دزينة من القطع، فإن كل قطعة سيكون لها نفس التأثير. هذا يوضح أن كل قطعة ستصبح مغناطيسًا بنفسها، وستكون لها أقطاب تمامًا كما كان للمغناطيس الكبير.

الشكل 5

والآن، لدينا أمر غريب آخر لنخبرك به عن المغناطيس. إذا قرّبت القطب الشمالي لمغناطيس من القطب الجنوبي لمغناطيس آخر، فسوف يتجاذبان ويلتصقان معًا. لكن إذا قرّبت قطبًا جنوبيًا من قطب جنوبي آخر، أو قطبًا شماليًا من قطب شمالي آخر، فسوف يتنافران ولن يكون هناك أي تجاذب. وبسبب هذه الحقيقة يمكنك إجراء بعض التجارب الممتعة. وسنذكر لك واحدة منها:

خذ مثلًا اثنتي عشرة إبرة، ومرّرها عدة مرات في نفس الاتجاه على أطراف مغناطيس حتى تُصبح ممغنطة. بعد ذلك، اغرز كل إبرة في قطعة صغيرة من الفلّين بحيث يخرج نصفها فقط، ثم ضع الفلّينات مع الإبر في وعاء ماء. بعد ذلك خذ مغناطيسًا قضيبياً واقترب به تدريجيًا نحو منتصف الوعاء، وسترى الفلّينات إمّا تتقدم نحو المغناطيس أو تبتعد عنه. فإذا كانت أطراف الإبر البارزة من الماء أقطابًا جنوبية، وكان الطرف الذي تقدمه من المغناطيس قطبًا شماليًا، فإن الإبر ستتجه نحو المركز؛ أما إذا قدمت قطبًا جنوبيًا، فسوف تتحرك نحو جوانب الوعاء. ويمكنك أن تغيّر شكل هذه التجربة الجميلة بأن تدير أطراف بعض الإبر الأخرى للأعلى.

تذكر أنه عندما شرحنا معنى "المقاومة"، قلنا لك إن الكهرباء دائمًا تسلك الطريق الأسهل. فبينما يمر جزء منها في سلك

صغير، فإن الجزء الأكبر سيسلك طريقًا أسهل إذا وجد جسمًا معدنيًا أكبر. فالكهرباء لا تسري بسهولة إلا عبر المواد المعدنية. وتذكر أيضًا أنك تعلمت أنه عندما تسلك الكهرباء طريقًا مختصرًا بعيدًا عن مسارها الصحيح، فإن هذا يُسمى دائرة قصيرة)قصر كهربائي.(ويجب أن نأخذ كل هذا في الاعتبار عند صنع المغناطيسات. فأولًا: السلك الذي نلفه حول الحديد أو الصلب لصنع المغناطيس يجب أن يكون مغطى دائمًا بمادة عازلة للكهرباء. وغالبًا ما يُغطى سلك المغناطيس بالقطن أو الحرير. ولو تُرك السلك عاريًا، لالتصقت كل لفة من السلك باللفة التي تليها، وبهذا نكون قد صنعنا مسارًا سهلًا جدًا للكهرباء بحيث تعود كلها مباشرةً إلى البطارية عبر دائرة قصيرة، وبالتالي لن نحصل على أي تأثير مغناطيسي في الحديد أو الصلب.

والطريقة الوحيدة التي نستطيع بها أن نجعل الكهرباء تؤدي عملًا نافعًا لنا هي أن نضع أمامها بعض المقاومة أو المعارضة في مسارها. وهكذا ترى أنه إذا أجبرناها أن تمر عبر السلك الملفوف حول الحديد أو الصلب، فهناك مقدار كافٍ من المقاومة في هذا المسار يجعلها تبذل جهدًا للمرور خلال السلك، وهذا الجهد يُنتج التأثير العجيب الذي يجعل الحديد أو الصلب مغناطيسيًا.

وتذكر أن الغطاء الموجود على السلك يُسمى العزل.

الفصل الرابع

التلغراف

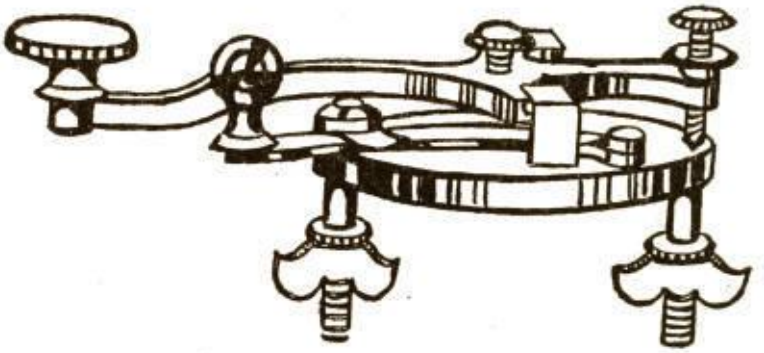
كل واحد منّا يعرف كم هو التلغراف وسيلة مريحة جدًا، لكن القليل فقط يتوقف ليتأمل مدى روعة أن نرسل رسالة في بضع ثوانٍ إلى مكان بعيد، حتى لو كان على بُعد آلاف الأميال. ومع أنّ نظام التلغراف الحالي مذهل بالفعل، فإن طريقة إرسال البرقية بسيطة جدًا.

الأدوات التي تُستعمل في إرسال البرقية هي:

1. البطارية.
2. السلك.
3. مفتاح التلغراف.
4. جهاز الاستقبال (السّاوندر).

أما أنواع البطاريات الكهربائية فسيتم ذكرها لاحقًا، لذلك لن نتوقف الآن لشرحها، بل نكتفي بالقول إن البطارية تُستعمل لتوليد الكهرباء اللازمة. وبما أنكم جميعًا تعرفون ما هو السلك، فلا حاجة للتفصيل فيه.

يبقى لنا أن نشرح مفتاح التلغراف، وهو كما في الرسم التوضيحي أدناه: (الشكل 6).



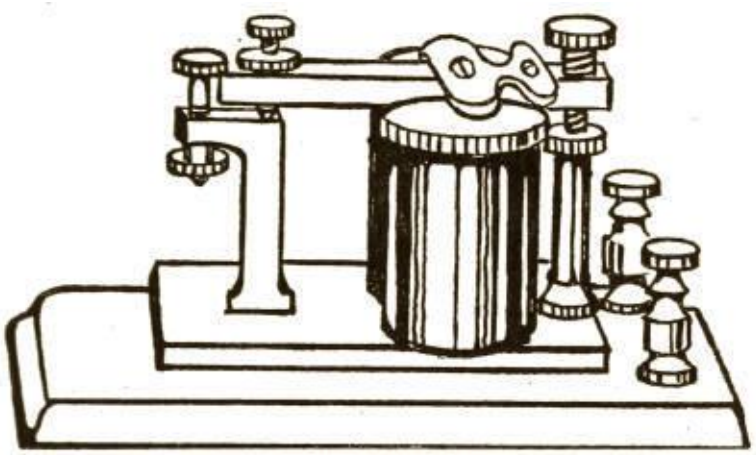
الشكل 6

يُصنع هذا الجهاز عادةً من النحاس الأصفر، غير أنّ المقبض في أعلاه يحتوي على مقبض صغير مصنوع من المطاط الصلب. هذا المقبض (أو الذراع) يتحرك إلى الأسفل عند الضغط عليه، ثم تدفعه نابضة صغيرة من أسفل ليعود إلى وضعه الطبيعي عند تركه. ستلاحظ وجود مقبض صغير ثانٍ، وسوف نشرح فائدته لاحقًا.

أما جهاز الساوندر (المستقبل)، فهو كما في الصفحة التالية (الشكل 7).

الجزء المكوَّن من العمودين الأسودين هو مغناطيس كهربائي، وفوق هذين العمودين قطعة من الحديد تُسمّى المُطرِقة

)الذراع الحديدية(armature – ، وهي مثبتة بواسطة نابضة تجعلها مرفوعة إلى الأعلى.



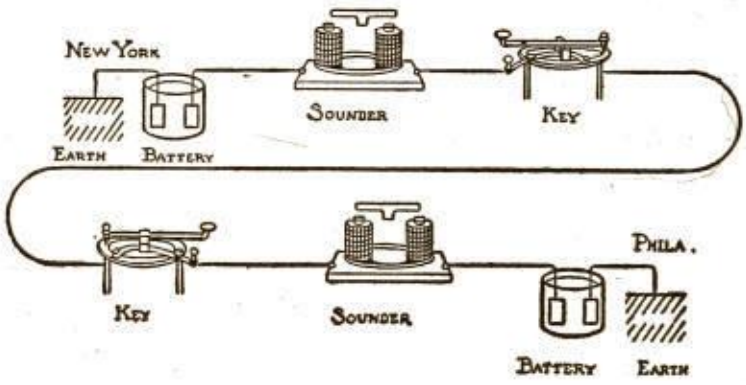
الشكل 7

والآن لنرَ كيف يتم توصيل البطارية والسلك بهذين الجهازين. كما رأيتَ من قبل، عادةً ما نستخدم سلكين ليمر التيار الكهربائي خلالهما: سلك يخرج منه التيار من البطارية، وسلك آخر يعود من خلاله. لكنك ستدرك بسهولة أنه لو استُخدم سلكان في التلغراف، فستكون العملية باهظة التكاليف،

خصوصًا إذا كان لا بد من مدّ الأسلاك لمسافات تصل إلى آلاف الأميال.

لذلك، وبدلًا من استعمال السلك الثاني، نستخدم الأرض لعودة التيار الكهربائي إلى البطارية، لأن الأرض تُعَد موصلًا أفضل حتى من السلك. فرغم أن جزءًا من التربة مساوٍ في حجمه للسلك سيُظهر مقاومة أكبر آلاف المرات من السلك، إلا أن كتلة الأرض الهائلة تجعل مقاومتها الكلية أقل من مقاومة أي سلك تلغرافي مستخدم.

عندما يُمد سلكان من البطارية ويُوصَلان معًا عبر أحد الأجهزة، فإن ذلك يُسمّى دائرة كهربائية (*circuit*)، لأن الكهرباء عندها تسلك مسارًا يتيح لها العودة إلى البطارية. هذا النوع يُسمّى دائرة معدنية .لكن عندما يُستَخدم سلك واحد فقط، ويُربَط الطرف الآخر من البطارية بالأرض، فإن الدائرة تُسمّى دائرة أرضية أو دائرة بالتأريض (*earth circuit*)، لأن الكهرباء تعود عبر الأرض.



شكل 8

إذا نظرت إلى هذا الرسم (شكل 8) سترى كيف يتم توصيل أجهزة التلغراف، وعندها ستتمكن من فهم كيف يمكن إرسال رسالة.

لدينا هنا مجموعتان من أجهزة التلغراف، إحداهما – لنفترض – في نيويورك، والأخرى في فيلادلفيا.

سترى أن أحد الأسلاك الخارجة من البطارية متصل بالأرض، بينما السلك الآخر متصل بجهاز الاستقبال (السوندَر). ومن جهاز الاستقبال يخرج سلك آخر إلى أحد أطراف مفتاح الإرسال بحيث يصبح القاعدة النحاسية للمفتاح جزءًا من الدائرة الكهربائية. أما الطرف الآخر للمفتاح فهو "معزول" عن القاعدة النحاسية بواسطة مادة لا توصل الكهرباء، مثل المطاط الصلب.

ولنفترض أن هناك بالفعل سلكًا ممتدًا على الأعمدة بين نيويورك وفيلادلفيا، وأن المفتاح، وجهاز الاستقبال، والبطارية في المدينة الثانية متصلة بنفس الطريقة كما في نيويورك.

الآن، لكي نتمكن من إرسال رسالة من مدينة إلى أخرى، يجب أن نوصل طرفي السلك بالأجهزة في كل مدينة؛ لذلك نوصل أحد الأطراف بالطرف المعزول لمفتاح نيويورك، والطرف الآخر بالطرف المعزول لمفتاح فيلادلفيا.

الآن أصبح كل شيء جاهزًا، وبمجرد أن نفهم فائدة ذلك الجزء من المفتاح الذي يحمل مقبضًا أسود صغيرًا مستديرًا، سنكون مستعدين للبدء. هذا الجزء يُسمى "المفتاح الجانبي" أو "السويتش."

إذا نظرت مرة أخرى إلى صورة المفتاح سترى أسفل الذراع الطويلة (أو العتلة) نقطة صغيرة يلامسها الذراع عند الضغط عليه. هذه النقطة جزء من ذلك الطرف المعزول، وبالتالي فهي أيضًا معزولة عن القاعدة. فإذا مر تيار كهربائي في السلك فلن يتمكن من تجاوز هذه النقطة ما لم نضع ترتيبًا ما لإكمال المسار أو "الدائرة" ليسير فيه. ولهذا نضع "السويتش."

أحد أطراف السويتش (المصنوع من النحاس وله مقبض مطاطي) مثبت في قاعدة المفتاح بحيث يمكن تحريكه يمينًا أو يسارًا. والطرف الآخر، عندما يُحرَّك السويتش إلى اليسار (أو يُغلق)، يلامس قطعة نحاسية مثبتة في النقطة الصغيرة التي ذكرناها، فيصنع بذلك مسارًا حرًا للكهرباء يمر عبر قاعدة المفتاح ومنه إلى السلك المؤدي إلى جهاز الاستقبال، ومن هناك إلى البطارية، ثم يعود إلى الأرض. ويجب أن يُفتح هذا السويتش قبل أن يستجيب جهاز الاستقبال القريب للمفتاح المجاور له.

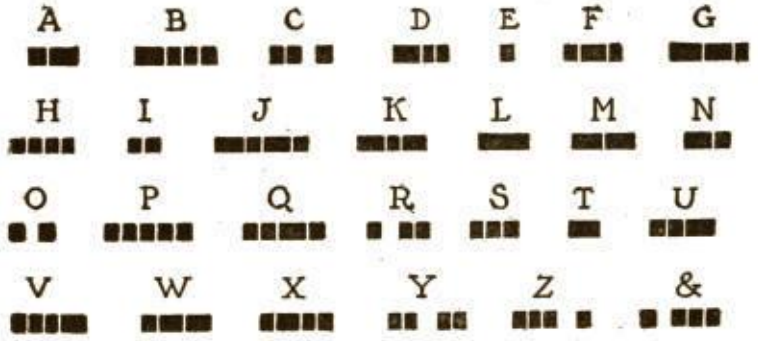
الآن نحن جاهزون لإرسال رسالة. لنفترض أننا نريد إرسال برقية من نيويورك إلى فيلادلفيا. يقوم العامل في نيويورك بفتح السويتش ويضغط على مفتاحه عدة مرات. وبما أن السويتش في مفتاح فيلادلفيا مغلق، فإن الكهرباء تمر عبر جهاز الاستقبال هناك، فيتحول بفعل التيار المار عبر السلك إلى مغناطيس كهربائي، فيجذب قطعة الحديد (الذراع) بقوة إلى الأسفل. وستظل القطعة هناك ما دام العامل في نيويورك يبقي على ضغطه على المفتاح، ولكن بمجرد أن يتركه يرتفع ثانيةً، يتوقف التيار عن المرور في جهاز الاستقبال في فيلادلفيا، وينعدم المغناطيس، فترتفع الذراع مجددًا مع إصدار "طقة."

وكلما ضغط العامل في نيويورك على مفتاحه وتركه يعود لوضعه الطبيعي، يحدث نفس الفعل في جهاز الاستقبال بفيلادلفيا، مُصدرًا ذلك الصوت الطَقطقة الذي تسمعه إذا رأيت أجهزة التلغراف تعمل.

ولنكمل إرسال الرسالة: بعد أن يضغط عامل نيويورك مفتاحه عدة مرات لإشعار عامل فيلادلفيا، يقوم بإغلاق السويتش ليكون مستعدًا لاستقبال الرد. ثم يقوم عامل فيلادلفيا بفتح سويتشه ويضغط على مفتاحه عدة مرات، فيُحدث جهاز الاستقبال في نيويورك طقطقة مشابهة، ليُخبر العامل هناك بأنه جاهز لاستقبال الرسالة. بعدها يغلق سويتشه ويتلقى البرقية التي يرسلها عامل نيويورك بعد أن يفتح مفتاحه.

تُرسل الرسائل البرقية وتُستقبل بهذه الطريقة، وتُقرأ عن طريق أصوات الطقطقة.
ويمكن تمثيل هذه الأصوات على الورق بنقاط وخطوط وفراغات. فمثلًا، إذا ضغطت المفتاح ثم تركته بسرعة، فهذا يمثل "نقطة". وإذا ضغطت المفتاح وأبقيت الضغط لفترة أطول قليلًا قبل أن تتركه، فهذا يمثل "شرطة". أما "الفراغ" فيُمثل بالانتظار قليلاً قبل الضغط مرة أخرى.

وفيما يلي نُظهر لك الحروف الأبجدية باستخدام هذه النقاط والخطوط والفراغات، وهي الطريقة المتبعة الآن في إرسال جميع الرسائل البرقية.



إذن، كما ترى، إذا كنتَ ترسل برقية بالكلمة "and" (أي: "و") فإنك ستضغط المفتاح وتتركه يعود بسرعة، ثم تضغطه مرة أخرى وتتركه بعد فترة أطول قليلًا، وهذا سيعطي الحرف A؛ ثم تضغط ببطء وتتركه بسرعة، وهذا يمثل الحرف N؛ ثم تضغط ببطء ثم بسرعة مرتين، وهذا يمثل الحرف D.

يمكن لأي صبي مثابر أن يتعلم تشغيل جهاز التلغراف بقليل من الدراسة والممارسة المنتظمة؛ ولأن مجموعات التعلّم الكاملة يمكن شراؤها بثمن زهيد جدًا، فإنها توفر هواية ممتعة ومفيدة للأولاد.

هناك حالات كثيرة يكون فيها صبيّان يعيشان بالقرب من بعضهما، فيمتلك كل واحد منهما مجموعة من أجهزة التلغراف في منزله، ثم يمدّان سلكًا بين البيتَين، وهكذا يقضيان ساعات طويلة من التسلية الممتعة والمفيدة.

وفي الشرح السابق للتلغراف أوضحنا فقط الشكل البسيط والابتدائي منه. أما في خطوط التلغراف الكبيرة مثل تلك الخاصة بشركة Western Union، فتوجد أجهزة إضافية عديدة أكثر تعقيدًا ويصعب فهمها؛ مثل جهاز الرباعي (quadruplex)الذي يمكن من خلاله إرسال أربع رسائل مختلفة في الوقت نفسه عبر السلك ذاته. ولهذا فقد اكتفينا بشرح أبسط صورة، فقط لتوضيح الفكرة العامة لعمل التلغراف بواسطة الكهرباء المغناطيسية، وهي المبدأ الأساسي لكل أنواع التلغراف.

وعندما تدرس الكهرباء بعمق أكبر ستجد أن هذا الموضوع، ومعه الأدوات المختلفة المستعملة فيه، غاية في الروعة والإثارة.

الفصل الخامس

التلغراف اللاسلكي

إذا كان الأمر يبدو لك شيئًا رائعًا أن سلكًا واحدًا فقط يكفي لإرسال رسالة بالتلغراف الكهربائي، وأنه يمكننا جعل الأرض نفسها تقوم مقام السلك الآخر، فكم هو أعجب أن نعلم أنّه في أيامنا هذه يمكننا تبادل الرسائل البرقية بين مكانين بعيدين من دون أي أسلاك على الإطلاق، حتى وإن كانت المسافة بينهما مئات الأميال.

فمثلًا، سفينتان في عرض البحر، كلتاهما بعيدة عن الأخرى ولا تستطيع أن تريا بعضهما البعض، يمكنهما أن تتحادثا فيما بينهما، أو أن تُرسل كل واحدة منهما رسالة وتستقبلها من الشاطئ على مسافة بعيدة جدًا. بل إن الرسائل البرقية قد أُرسلت بالفعل عبر المحيط الأطلسي بواسطة التلغراف اللاسلكي.

لقد صار مألوفًا أن يُطلق عليه اسم "التلغراف اللاسلكي"، لكن سيكون من الأدق أن نسميه التلغراف الفضائي أو الهوائي .من الطبيعي أنك سترغب أن تعرف كيف يتم ذلك، لذلك سأحاول أن أشرح لك المبادئ الأساسية على نحو مبسط.

الموجات في الأثير

عندما تُلقي حجرًا في بركة ساكنة، ترى سطح الماء قد تشكّل على هيئة حلقات من التموجات تنتشر بعيدًا حتى تختفي. هذه الموجات سببها اضطراب أصاب سطح الماء.

وقد تعلمت في المدرسة أن الفضاء كله ممتلئ بمادة تُسمى "الأثير"، وهي مادة غاية في الدقة والشفافية، حتى إنها تتخلل كل شيء، حتى أكثر الأجسام صلابة وكثافة.

إن الأثير يملأ كل الفضاء، ويمر عبر كل الأجسام في الكون. وعلى الرغم من أننا لا نستطيع أن نراه ولا أن نحس به، إلا أنه عندما يضطرب، فإنه يظل في حالة حركة متموجة.

وقد فسّر العلم الحديث أن الضوء والحرارة الإشعاعية والظواهر الكهربائية ما هي إلا اهتزازات أو تموجات في الأثير. فإذا أشعلت ضوءًا، اضطرب الأثير، وتنشأ موجات تنتشر في جميع الاتجاهات. وعندما تصل هذه الموجات إلى عين شخص آخر بعيد، تتأثر عينه بها ويرى الضوء. هذا يحدث بسرعة هائلة، لأن الموجات الضوئية تنتقل بسرعة تبلغ نحو 186ألف ميل في الثانية الواحدة.

وبنفس الطريقة، إذا أحدثت اضطرابًا كهربائيًا، فإن الأثير يضطرب وتتولد موجات كهربائية تنتشر في كل اتجاه. وإذا وُضع جهاز كهربائي مُصمم بطريقة مناسبة بحيث يمكنه أن

يتأثر بهذه الموجات (كما أن العين تتأثر بموجات الضوء)، فإننا نستطيع أن نستخدم هذه الموجات لنقل الرسائل عبر الفضاء. وهذا بالضبط ما قد تحقق بالفعل.

جهاز الإرسال

لأجل "الإرسال" (أو "التحويل" كما يُسمى أحيانًا) يُستخدم جهاز ملف الحث (induction coil)، تكون نهايته الثانوية مجهزة بكرات نحاسية كبيرة، مع بطاريات مناسبة، ومكثف، ومفتاح تلغرافي (مفتاح مورس)، وسلك هوائي (aerial) يمتد رأسيًا إلى أعلى في الهواء ويُثبت إلى عمود أو برج.

وعندما يُغلق المفتاح، تحدث شرارة بين الكرات النحاسية، وهذه الشرارة الكهربائية (أو هذا الاهتزاز) تُرسل إلى الهواء عبر الهوائي، فتُحدِث اضطرابًا عنيفًا في الأثير، مما يولّد موجات. وعندما تُفتح الدائرة يتوقف الاضطراب.

وبهذه الطريقة، من خلال الفتح والإغلاق المتتالي للمفتاح، نستطيع أن نُرسل نقاطًا وشرطات وفق شفرة مورس.

جهاز الاستقبال

لكن كيف تُستقبل هذه الرسائل على مسافة مئات الأميال؟

يتكون جهاز الاستقبال من:

- ريليه حساس جدًا،
- بطاريات،
- مقاومات،
- مسجل مورس،
- سلك هوائي،
- وأهم جزء على الإطلاق :الكوهيرر.(coherer)

الكوهيرر عبارة عن أنبوب زجاجي صغير يشبه قلم الرصاص، طوله نحو بوصتين. بداخله سَدادتان معدنيتان متصلتان بأسلاك كهربائية، وبينهما فراغ صغير يحتوي على برادة معدنية.

- في الحالة الطبيعية، عندما لا توجد موجات أثيرية، تكون هذه البرادة مفككة وغير متماسكة، مما يجعل مقاومتها للتيار الكهربائي كبيرة جدًا.

- لكن عندما تصل موجات كهربائية عبر الهوائي، فإنها تؤثر على البرادة وتجعلها تتماسك معًا)تتلاحم(cohere/، فتصبح موصلة للتيار الكهربائي.

وبمجرد حدوث هذا، يمر التيار عبر الكوهيرر إلى الريليه، فيُغلق الريليه دائرة مسجل مورس، فيبدأ المسجل بطباعة الإشارات على شريط ورقي.

وفي نفس اللحظة، يعمل جهاز صغير يُسمى الديكوهيرر (decoherer)على الطرق برفق على الأنبوب، ليعيد البرادة إلى حالتها المفككة، فتعود مقاومة التيار عالية، وبذلك يصبح الجهاز جاهزًا لتسجيل إشارة جديدة.

وهكذا، من خلال الضغط على المفتاح في جهاز الإرسال لفترات طويلة أو قصيرة (شرطات أو نقاط)، تتولد موجات طويلة أو قصيرة في الأثير، وتُلتقط في جهاز الاستقبال وتُسجَّل على هيئة إشارات مورس.

التطور الحديث للتلغراف اللاسلكي

لقد حاولنا أن نشرح المبادئ الأساسية للتلغراف اللاسلكي مستخدمين أبسط الأجهزة العملية. لكن في عصرنا الحاضر، توجد أنظمة متعددة ومتطورة:

- لم يعد الكوهيرر يُستخدم كثيرًا، إذ استُبدل بأجهزة أكثر حساسية تُسمى كواشف الموجات (wave detectors).
- لم تعد البطاريات هي المستخدمة لإحداث الموجات الكهربائية، بل أصبح الاعتماد على المولدات الكهربائية.(dynamos)
- لم يعد من الضروري أن تُسجَّل الرسائل بواسطة مسجل مورس، بل أصبح المشغّل يتلقاها غالبًا عن طريق سماعة هاتفية، حيث يسمع إشارات المورس مباشرة ويكتبها في شكل كلمات.
- كما أن الهوائي (أو "الأنتينا") لم يعد سلكًا واحدًا فقط، بل أصبح يتكون من عدة أسلاك تُمد إلى ارتفاعات كبيرة في الهواء.

هناك تفاصيل كثيرة أخرى عن الأجهزة المعقدة المستخدمة في بعض أنظمة التلغراف اللاسلكي، لكن ما عرضناه هنا يكفي لإعطاء فكرة عامة عن المبادئ الأساسية، لتكون قاعدةً يمكنك البناء عليها إذا أردت التوسع والبحث في التفاصيل بعد قراءة هذه الصفحات.

الفصل السادس

الهاتف

أنتم جميعًا تعرفون على الأرجح أن الهاتف هو أداة كهربائية يمكن بواسطتها لشخص أن يتحدث مع آخر على مسافة بعيدة. ليس فقط يمكننا التحدث مع شخص في جزء آخر من المدينة، بل إنه قد أُدخلت تحسينات عظيمة على هذه الأجهزة حتى أصبح بإمكاننا أن نتحدث عبر الهاتف مع شخص في مدينة أخرى، حتى لو كانت تبعد مئات الأميال.

المبدأ الأساسي في الهاتف هو الكهرومغناطيسية، كما في التلغراف، لكن هناك نقاطًا أخرى مهمة بالإضافة إلى ما ذكرناه عند وصف الأخير.

فلنأخذ أولًا:

ملف الحث

تتذكرون أن المغناطيس الكهربائي يُصنع بلف عدد كبير من الأسلاك حول قطعة من الحديد وتمرير تيار كهربائي في هذا السلك.

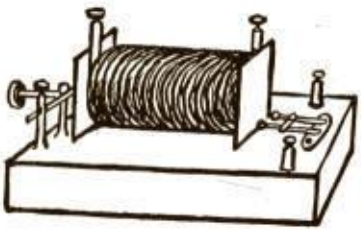
والآن، افترضوا أن هذا التيار الكهربائي يتم توفيره بواسطة خليتين من البطارية. فإذا أمسكتم بأيديكم الأسلاك القادمة من هاتين الخليتين، والتي تعطي، لنقل، أربعة فولتات، فلن تشعروا بأي صدمة؛ ولكن إذا أمسكتم بطرفي السلكين عند المغناطيس الكهربائي وفصلتموهما بينما يمر هذا التيار نفسه، فسوف تشعرون بصدمة واضحة.

إن هذا الفصل "يكسر" الدارة، والسبب في شعوركم بالصدمة هو أنه بينما يعمل التيار الكهربائي على السلك، يكون الحديد نفسه قد أصبح ممغنطًا، وعند كسر الدارة فإنه يؤثر رجعيًا على السلك منتجًا في تلك اللحظة مزيدًا من الضغط الكهربائي (الفولتات) في كل لفة من السلك. وهكذا ترون أن هذا الضغط الضعيف للكهرباء أثناء مروره في السلك يمكنه مع ذلك أن يُنتج، من خلال مغنطته، تأثيرات قوية لحظية، لكنكم لا تشعرون بها إلا عند كسر الدارة.

كيفية صنع ملف الحث

الغرض من ملف الحث هو إنتاج شدة عالية، أو ضغط مرتفع، انطلاقًا من ضغط ضعيف نسبيًا وتيار كهربائي كبير. لذلك، إذا أضفنا مزيدًا من الأسلاك، فإن المغناطيس يكون لديه عدد أكبر من اللفات ليؤثر عليها، وبالتالي ينتج ضغطًا قويًا جدًا، أو عددًا كبيرًا من الفولتات، لكن بعدد أقل من الأمبيرات.

وبدلًا من استخدام قطعة واحدة من الحديد كما نفعل في المغناطيس الكهربائي العادي، فإننا نأخذ حزمة من أسلاك الحديد لصنع ملف الحث، لأن هذه تعطي تأثيرًا أقوى. حول هذه الحزمة من الأسلاك نلف عددًا كبيرًا من لفات النحاس المعزول. وهذا يُسمى الملف الابتدائي، أما طرفا هذا السلك فيُوصَلان بالبطارية.



الشكل 9

على الجزء العلوي من الملف الابتدائي نلف عددًا كبيرًا جدًا من الأسلاك النحاسية الرفيعة جدًا، وبسبب رقتها يمكن استخدام طول طويل منها. هذا يسمى الملف الثانوي، وفي هذا الملف تصبح قوة الضغط الكهربائي (الفولتية) هي الأقوى.

أعلاه نعرض لكم رسمة تقريبية للملف الحثي (الشكل 9).

على الجانب الأيسر من الشكل يوجد قاطع دائرة، وهو ببساطة قطعة من الحديد) مطرقة (Armature – مثبتة على نابض، وموضوعة مقابل القلب الحديدي. هذه المطرقة تعتبر

جزءًا من السلك الموصل إلى الملف الابتدائي. عندما يمر التيار من البطارية عبر الأسلاك، يصبح القلب ممغنطًا فيجذب المطرقة بعيدًا عن نقطة التلامس الثابتة، وبذلك تنقطع الدائرة، ولكن النابض يعيدها فورًا إلى مكانها لتغلق الدائرة من جديد. وهكذا تتحرك ذهابًا وإيابًا بسرعة كبيرة جدًا محدثة صوتًا يشبه: "برررر."

ولو أمسكت الآن بنهايتي السلك الخارج من الملف الثانوي، فسوف تشعر بسلسلة متواصلة من الصدمات السريعة التي تشبه وخز الإبر في جسمك.

وربما كثير منكم جرب أن يمسك بمقابض بطارية طبية وحصل على صدمات كهربائية منها. في هذه الحالة، ما شعرت به لم يكن إلا تيارًا صادرًا من الملف الثانوي لملف حثي. ويمكن جعل هذا التيار أضعف عن طريق تحريك غطاء معدني ينزلق ليغطي جزءًا من القلب الحديدي، وبالتالي يقلل من التأثير المغناطيسي.

ملفات الشرر

وبما أننا نتحدث عن هذا الموضوع، يمكن أن نضيف أن هذه الملفات تستطيع أن تنتج شررًا كهربائيًا بين طرفي السلك الخارج من الملف الثانوي. ويتغير طول الشرر باختلاف

كمية السلك في الملف. فهناك ملفات صغيرة تعطي شررًا طوله ربع بوصة، بينما هناك ملفات أكبر تعطي شررًا طوله 10 أو 12 أو حتى 16 بوصة. وفي هذه الأخيرة، يكون الملف الثانوي ملفوفًا بأسلاك يصل طولها إلى عدة أميال.

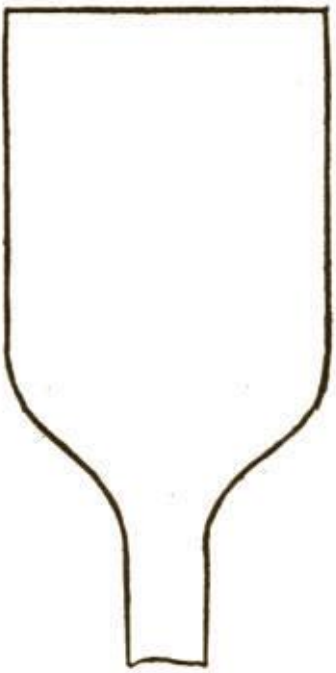
أكبر ملف حثي معروف صُنع خصيصًا لعالم إنجليزي. يحتوي هذا الملف على 341,850لفة من السلك في الملف الثانوي، أي ما يعادل 280ميلًا من السلك. ومع 30 خلية من بطارية جروف يمكن لهذا الملف أن يعطي شررًا طوله 42 بوصة (أكثر من متر تقريبًا). ويمكنك أن تتصور قوة هذا الملف عندما تعرف أنه لو أردنا إنتاج نفس الطول من الشرر مباشرة من البطاريات، دون استخدام ملف حثي، لاحتجنا إلى ضغط كهربائي مجموع من 60,000إلى 100,000 خلية بطارية.

وبهذا نكون قد شرحنا بإيجاز الملف الحثي – كيف يُصنع وكيف يعمل، ونطلب منك أن تحفظ هذه المبادئ في ذهنك، وسنشرح لاحقًا كيف يُستخدم في الهاتف.

الغشاء المهتز (DIAPHRAGM)

هل جربت يومًا أن تمسك بطرف عصا بيدك، ثم ترفعها فوق رأسك، وتنزلها فجأة وبحدة حتى تكاد تلامس الأرض وكأنك ستضرب بها شيئًا؟ إن لم تفعل، فجرب الآن باستخدام عصا خفيفة أو قطعة من الخشب الصنوبري طولها ثلاثة أقدام وسمكها نصف بوصة، وستلاحظ صدور صوت غريب.

ليس مصدر هذا الصوت العصا نفسها، بل لأنك جعلت الهواء يهتز أو يرتجف، ومن اهتزاز الهواء يصدر الصوت.

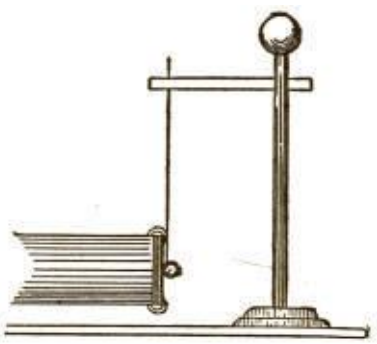


الشكل 10

إذا ضربت شوكة رنانة بقوة سترى نهايتيها تهتزان ويصدر عنها صوت. وإذا وضعت أصابعك على سطح قبعة من الحرير وتحدثت بالقرب منها ستشعر باهتزازات صوتك.

في كل مرة تتكلم فيها فإنك تُحدث اهتزازات في الهواء؛ وكلما كان صوتك أعلى وأحدّ زادت عدد الاهتزازات.

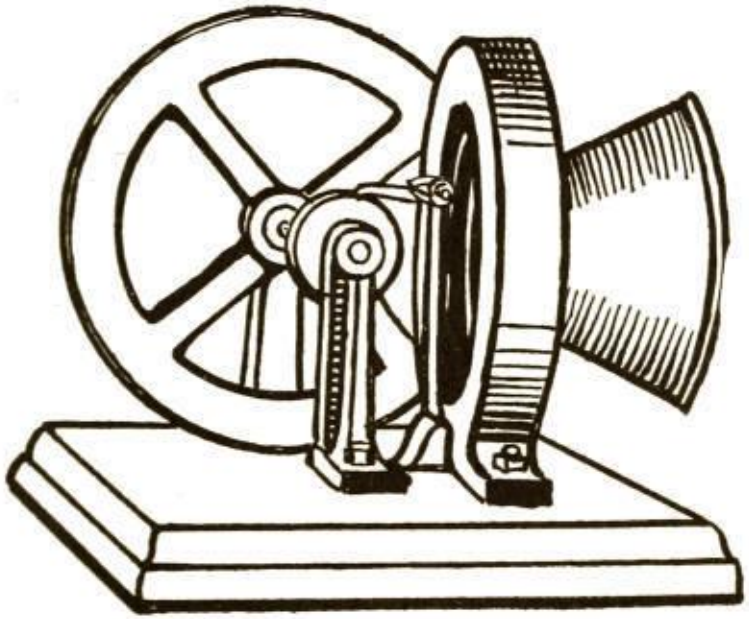
افترض أنك أخذت قطعة رقيقة من الخشب في يديك (مثل غطاء علبة السيجار المقطوع بالشكل الموضح في الصورة، شكل 10) وأمسكتها على بُعد نحو بوصتين من فمك ثم تحدثت. ستشعر بأن الخشب يرتجف في يدك. وهذا لأن اهتزازات الهواء تجعل الخشب يهتز بالطريقة نفسها. هذه الاهتزازات دقيقة جدًا ولا يمكن رؤيتها بالعين المجردة، لكنها تحدث بالفعل، ويمكن قياسها بأداة متوازنة وحساسة جدًا.



شكل 11

والآن دعونا نجرب تجربة أخرى لتوضيح هذا المبدأ بشكل أكبر. سنأخذ أنبوبًا طوله نحو ثلاث بوصات وقطره بوصة ونصف أو بوصتان. يمكن أن يكون هذا الأنبوب مصنوعًا من الورق المقوّى. بعد ذلك نقص قطعة رقيقة من الورق المقوّى بحيث تناسب تمامًا أحد طرفي الأنبوب. هذه القطعة سنسميها "الحجاب الحاجز". نثبت الحجاب الحاجز بلصقه على الأنبوب باستخدام شريطين رقيقين من الورق. يجب أن تُثبت أطراف الشرائط فقط، بينما يُترك منتصف الورق مرتخيًا كما هو موضح في الصورة، حتى يتمكن الحجاب الحاجز من الحركة للأمام والخلف بسهولة.

ثم نأخذ خرزة صغيرة (رصاصة صغيرة) بحجم مماثل لما هو ظاهر في الرسم ونربطها بخيط رفيع من الحرير، ثم نتركها تتدلى كما هو موضح في الرسم (شكل 11) بحيث تلامس الحجاب الحاجز بالكاد. الآن، إذا تحدثت في الطرف المفتوح من الأنبوب، فإن الحجاب الحاجز سيهتز، وسنرى الخرزة تتحرك ذهابًا وإيابًا تبعًا لشدة الاهتزازات. ولو أمكننا بطريقة ما أن نجعل حجابًا حاجزًا في أنبوب آخر يُعيد إنتاج هذه الاهتزازات نفسها، لسمعنا الكلمات نفسها تُعاد من جديد إذا وُضع الأنبوب على الأذن.



شكل 12

مع أن الاهتزازات التي يسببها صوت الإنسان دقيقة جدًا بحيث لا تُرى، فقد يبدو مدهشًا أنها يمكن أن تُستخدم لإنتاج قوة. ويتم ذلك بواسطة آلية مبتكرة تُسمى الفونوموتور، والتي طوّرها المخترع العظيم توماس إديسون، الذي يعرفه الجميع بلا شك. هذه الآلية، عند التحدث أو الغناء فيها (أو باتجاهها)، تستجيب فورًا بجعل عجلة تدور. ومهما حاولت النفخ عليها فلن تدور العجلة، لكنها تبدأ فورًا بالحركة بفضل الاهتزازات الناتجة عن الصوت.

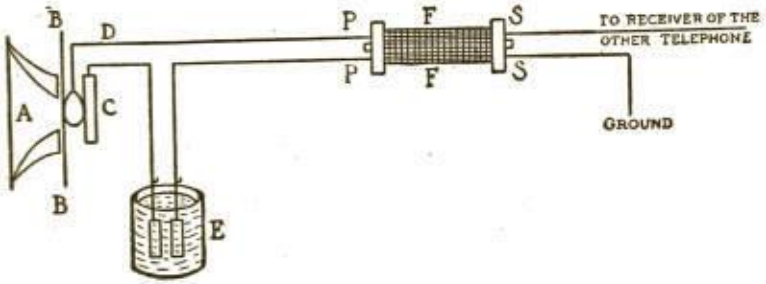
الفونوموتور (الموضح في الرسم، شكل 12) يحتوي على غشاء (حجاب حاجز) وقطعة فموية. هناك نابض مثبت في القاعدة يستند إلى قطعة من أنبوب مطاطي موضوعة مقابل الغشاء. يحمل هذا النابض لسانًا معدنيًا (pawl) يعمل على عجلة مسننة (ratchet wheel) مثبتة على محور العجلة الطائرة. عندما يُصدر صوت في القطعة الفموية، فإنه يخلق اهتزازات في الغشاء؛ هذه الاهتزازات تُحرّك النابض واللسان المعدني بالاندفاعات نفسها، ومع حركتهما ذهابًا وإيابًا على العجلة المسننة، تُجبر العجلة على الدوران.

وبالتالي، فإن هذه الأداة ذات قيمة عظيمة لقياس القوة الميكانيكية للموجات الصوتية، أو الاهتزازات التي يُنتجها صوت الإنسان.

المرسِل(Transmitter)

الجزء من الهاتف الذي نتحدث فيه يُسمى المرسِل .وهو عادة قطعة من المطاط الصلب تحتوي على فُتحة دائرية كقطعة فموية. على الجانب الآخر من هذه الفتحة يُثبت غشاء رقيق من المعدن يُمسك في مكانه بواسطة نابض خفيف. خلف هذا الغشاء، وقريبًا جدًا منه، وُضع زر من الكربون. وبين زر الكربون والغشاء توجد قطعة صغيرة من البلاتين، بحيث تلامس كلاً من الزر والغشاء بخفة شديدة.

هذه القطعة البلاتينية متصلة بأحد الأسلاك الموصولة بالملف الابتدائي للملف الحثي(induction coil) ، بينما النابض المثبت بزر الكربون متصل بالبطارية التي يتصل بها السلك الآخر للملف الابتدائي. كل هذا موضح في رسم المرسِل (شكل 13).



شكل 13

A:القطعة الفموية،

B:الغشاء (الحجاب الحاجز)،

C:زر الكربون،

D:السلك الذي في طرفه التلامس البلاتيني،

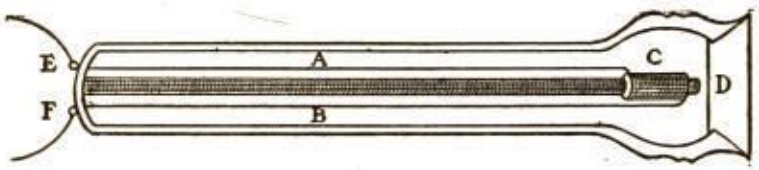
E:البطارية،

F:الملف الحثي(Induction-coil) ،

P,P: الأسلاك المتصلة بالملف الابتدائي،
S,S: الأسلاك المتصلة بالملف الثانوي.

والآن سنقول بضع كلمات عن المستقبِل، ثم نصف الطريقة التي يعمل بها الهاتف.

المستقبِل (The Receiver)
هو ذلك الجزء من الهاتف الذي يُمسك على الأذن، ومن خلاله نستطيع سماع الكلمات التي نُطقت في المرسِل الموجود في الطرف الآخر من الخط.



شكل 14

المستقبِل مصنوع من المطاط الصلب، ويحتوي على مغناطيس دائم على شكل قضيب، ملفوف بسلك بحيث يمكن جعله أيضًا مغناطيسًا كهربائيًا عند الحاجة. أمام هذا المغناطيس يوضع بشكل مرتخٍ غشاء من صفيحة رقيقة من الحديد. يُثبت الغشاء بحيث يكون داخل مجال تأثير المغناطيس، ولكن دون أن يلمس أي منهما الآخر.

شكل 14 يوضح رسمًا للمستقبِل:

- Aو B هما السلكان الموصلان إلى المغناطيس،
- Cهو المغناطيس،
- Dهو الغشاء،
- Eو F هما نقطتا توصيل الأسلاك، أحدهما قادم من الملف الثانوي للملف الحثي في الهاتف الآخر، والآخر متصل بالأرض.

زر الكربون(The Carbon Button)

يلعب زر الكربون الصغير دورًا مهمًا في الهاتف. ومن خلال رسم المرسِل ترى أن التيار الكهربائي يمر عبر زر الكربون إلى نقطة التلامس، ثم عبر السلك إلى الملف الابتدائي للملف الحثي.

والكربون له خاصية مميزة، وهي أنه إذا ضغطنا على زر الكربون ضغطًا خفيفًا نحو نقطة التلامس البلاتينية، فإن مقاومة مرور الكهرباء عبر السلك إلى الابتدائي تقل. وكلما زاد الضغط قلّت المقاومة أكثر. ونتيجة لذلك، يمر تيار أكبر إلى الابتدائي، ويصبح الثانوي أقوى تبعًا لذلك. أما إذا تُرك زر الكربون دون لمس، فلن يكون هناك أي ضغط عليه، وسيكون تدفق التيار عبره منتظمًا تمامًا.

كيف يعمل الهاتف(How the Telephone Works)
عندما نتحدث في القطعة الفموية للمرسِل، فإن اهتزازات الهواء تجعل الغشاء يهتز بسرعة كبيرة، وبالطبع كل حركة للغشاء تضغط بدرجات متفاوتة على زر الكربون. ونتيجة لذلك، فإن التيارات التي تمر عبر الملف الابتدائي للملف الحثي تزيد أو تنقص باستمرار، مما ينتج تأثيرات مماثلة ـــ ولكن مُضخّمة ـــ في الملف الثانوي.

وأثر ذلك أن المغناطيس في مستقبِل الهاتف الآخر يستقبل تيارًا متغيرًا بسرعة، وهذا التيار يُحدث تغيّرات مغناطيسية متقابلة تجعل المغناطيس يضعف أو يقوى بالتتابع. وهذا يؤثر، بفعل المغناطيسية، على الغشاء الحديدي في المستقبِل، فيجعله يُعيد إنتاج نفس الاهتزازات التي أحدثها الكلام في مرسِل الهاتف المُرسِل. وهكذا، ومع إعادة إنتاج نفس الاهتزازات، تصدر الأصوات الأصلية، ونستطيع أن نسمع ما يقوله الشخص من الطرف الآخر للهاتف.

إن عمل الهاتف يُوضّح بشكل رائع السرعة العجيبة للتيار الكهربائي في إعادة إنتاج هذه الموجات الصوتية، أو اهتزازات الهواء، والتي يبلغ عددها آلافًا عديدة في دقيقة واحدة من الكلام.

الفصل السابع
الضوء الكهربائي

لقد وصلنا الآن إلى جزء ممتع جدًا من دراسة الكهرباء، وكذلك إلى جزء أصعب مما تحدثنا عنه من قبل، لكنه مع ذلك سهل الفهم إذا قرأته بعناية.

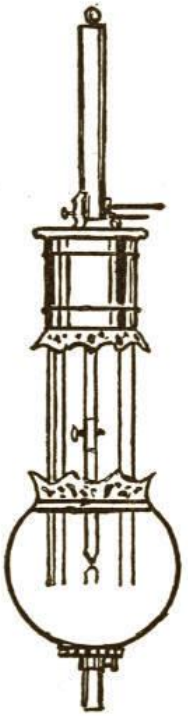
لا بد أنكم جميعًا قد شاهدتم الأضواء الكهربائية، إما في الشوارع أو في بعض المباني الكبيرة، إذ إن عددًا هائلًا من المصابيح الكهربائية يُستخدم الآن لدرجة أن قلة قليلة من الناس لم يروها. لكن ربما بعضكم لم يرَ سوى تلك المصابيح الكبيرة الباهرة التي تُستخدم في الشوارع، ولا يعرف أن هناك نوعًا آخر من الضوء الكهربائي يوجد داخل كرة زجاجية بحجم وشكل ثمرة الكمثرى الكبيرة تقريبًا، ويعطي ضوءًا مقاربًا لضوء فوهة غاز جيدة.

هذان النوعان من الضوء الكهربائي لهما أسماء مختلفة:

- الأضواء الكبيرة الباهرة التي تراها في الشوارع تُسمى مصابيح القوس الكهربائي.(Arc-lights)

- أما المصابيح الصغيرة على شكل الكمثرى، التي تعطي ضوءًا ناعمًا وثابتًا، فتُسمى المصابيح المتوهجة (Incandescent lights).

وسنشرح لكم لاحقًا لماذا أُطلقت هذه الأسماء عليهما.



شكل 15

تُستعمل المصابيح المتوهّجة عادةً في المنازل والمتاجر والمسارح والمصانع والبواخر وأماكن أخرى حيث تكون مجموعة من الأضواء الصغيرة أريح للعينين. أمّا مصابيح

القوس الكهربائي (شكل 15) فتُستخدم لإضاءة الشوارع والمساحات الكبيرة حيث تُطلب كمية عظيمة من الضوء.

لن يكون من المُستساغ أن تضع واحدًا من هذه المصابيح القوسيّة الباهرة في غرفة جلوسك—مع أنه سيعطي قدرًا كبيرًا من الضوء—لأن عينيك ستتعبان سريعًا. لكن مصباحين أو ثلاثة من المصابيح المتوهّجة الصغيرة (شكل 16) ستكون مُناسبة جدًا، لأنها تعطي ضوءًا ناعمًا ثابتًا للقراءة أو العمل، ولن تُجهد عينيك. وهكذا ترى أن هذين النوعين المختلفين من المصابيح مفيدان جدًا كلٌّ في موضعه المناسب.

والآن، إذا قرأت بصبر وعناية، سنحاول أن نشرح كيف يُصنع كلا النوعين من هذين الضوءين.

شكل 16

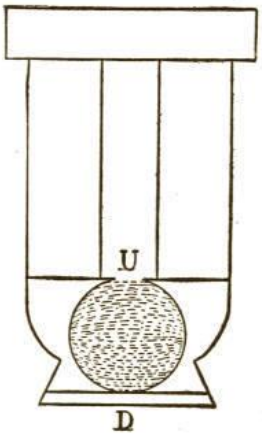
لقد رأيت أن التلغراف والهاتف والجرس الكهربائي وغيرها تعمل بواسطة البطاريات. لكن الأضواء الكهربائية تحتاج إلى كمية كبيرة جدًا من التيار، بحيث يصبح من المكلف جدًا إنتاجها بكميات كبيرة بواسطة البطاريات. صحيح أن عددًا قليلًا من المصابيح يمكن إنارته بالبطاريات، لكن لو حاولنا تشغيل 500 أو 1000 مصباح معًا، فإن التكلفة ستكون هائلة جدًا إلى درجة تجعل الأمر مستحيلًا تمامًا.

هناك ملايين عديدة من المصابيح المتوهجة مستخدمة في الولايات المتحدة، ولكن من السهل أن تدرك أنه لا يمكن استخدام هذا العدد الضخم إذا كنا نعتمد على البطاريات

لإنارتها. وستفهم هذا بشكل أوضح عند انتهائك من قراءة هذا الكتاب الصغير.

حسنًا، ستسأل: إذا لم يكن بالإمكان استخدام البطاريات، فما الذي يُستخدم لإنتاج هذه الأضواء الكهربائية؟

الجواب: تُستخدم آلات تُسمى الآلات الدينامو-كهربائية أو المولدات، وهي تُدار بواسطة محركات بخارية أو بقوة المياه، لإنتاج الكهرباء التي تجعل هذه المصابيح تعطينا الضوء. ولعلّك تتذكر أنه في الفصل الخاص بالمغناطيسية شرحنا لك كيف تُنتج الكهرباءُ المغناطيسية، والآن سنشرح كيف أن المغناطيسية في الدينامو تُنتج الكهرباء.



شكل 17

لقد وُجد أن تأثير المغناطيس يكون قويًا جدًا عند قطبيه، وأن

هذا التأثير يسير دائمًا في خطوط منتظمة. وقد وُصف هذا التأثير باسم "خطوط القوة"، وهي ممثَّلة في الرسم أعلاه بالخطوط المتقطعة (شكل 17). وبالطبع فإن هذه الخطوط ليست حقيقية ولا يمكن رؤيتها في أي مغناطيس، لكنها موجودة دائمًا. ومعنى هذا المصطلح "خطوط القوة" هو التعبير عن قوة المغناطيس.

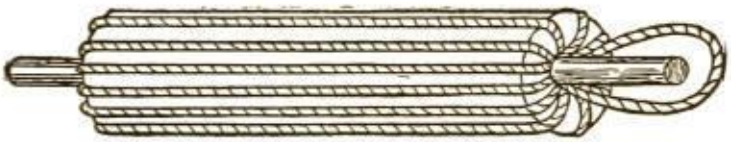
منذ سنوات طويلة اكتشف العالِم الكبير فاراداي أنه إذا مررنا حلقة مغلقة من السلك عبر خطوط القوة المغناطيسية الموجودة بين قطبي مغناطيس، فإن المغناطيسية تُحدث أثرًا غريبًا يتمثل في توليد تيار كهربائي داخل السلك. فإذا مرت الحلقة لأسفل، من U إلى D مثلًا، كان التيار يسير في اتجاه معين داخل السلك، وإذا مرت إلى أعلى، من D إلىU ، جرى التيار في الاتجاه المعاكس. وهكذا ترى أن المغناطيسية تُنتج كهرباء في الحلقة المغلقة من السلك عندما تقطع خطوط القوة المغناطيسية. أما كيف يحدث هذا أو لماذا، فلا أحد يعرف بالضبط، إنما نعرف فقط أن الكهرباء تتولد بهذه الطريقة، ونحن اليوم نستعمل هذا المبدأ عمليًا في آلات الدينامو كما سنشرح قريبًا.

وعند تطبيق هذا الاكتشاف عمليًا في صناعة آلات الدينامو، نستخدم الأسلاك النحاسية .ولو استُخدم الحديد بدلًا من النحاس لتولّد تيار كهربائي أيضًا، لكنه سيكون أقل بكثير، لأن سلك

الحديد له مقاومة أكبر بكثير لمرور الكهرباء من سلك النحاس بنفس الحجم.

وربما يسهل عليك فهم الأمر أكثر إذا قلنا إنه عندما تتحرك حلقة مغلقة من السلك صعودًا وهبوطًا بين قطبي مغناطيس قوي، فإنه يُشعر بمقاومة ملحوظة ضد حركة السلك ذهابًا وإيابًا.

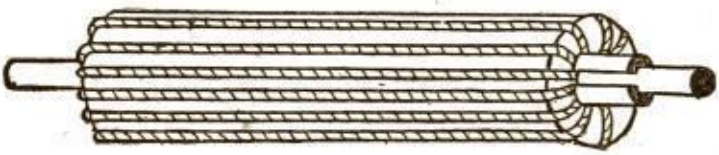
وهذا راجع إلى تأثير المغناطيسية على التيار المتولد في السلك أثناء قطعه لخطوط القوة. وبما أن هذه الخطوط موجودة دائمًا عند قطبي المغناطيس، فإنك سترى أنه مهما كررت حركة السلك صعودًا وهبوطًا، فإن تيارًا كهربائيًا سيتولد بداخله عند مروره عبر خطوط القوة.



شكل 18

افترض أنه بدلًا من استخدام حلقة واحدة فقط من السلك النحاسي، قمت بلف سلك طويل على بكرة كما في الشكل 18، ثم أدرت هذه البكرة بسرعة بين قطبي المغناطيس، عندها ستقوم بقطع خطوط القوة بنفس السلك مرات عديدة جدًا. وكلما قطع جزء من السلك خطوط القوة يتولد فيه مقدار من

الكهرباء، ويستمر ذلك ما دامت البكرة تدور. ولكن بما أن كل جزء ليس إلا جزءًا من سلك واحد متصل، فسيتضح لك بسهولة أن كمية كبيرة من الكهرباء ستتولد في كامل طول السلك.



شكل 19

كل ما علينا فعله إذن هو جمع هذه الكهرباء من طرفي السلك واستخدامها. ولكن إذا قمنا بتوصيل سلكين بطرفي السلك الملفوف على البكرة، فسوف ينقطعان عندما تدور البكرة، ولذلك يجب أن نستعمل طريقة أخرى.

نثبت في نهاية البكرة (التي تُسمّى العضو الدوّار Armature) قطعتين من النحاس بحيث لا تلمس إحداهما الأخرى (كما في الشكل 19)، ونوصل طرفي السلك بهاتين القطعتين النحاسيّتين. هذا يُسمّى المبدّلCommutator ، وهو في الحقيقة طرفا السلك الملفوف على البكرة. ثم نأتي بقطعتين نحاسيّتين رقيقتين مسطحتين ونثبتهما بحيث تلامسا قضبان النحاس في المبدّل، ولكن دون أن تدورا معه. هاتان القطعتان النحاسيّتان تُسميّان الفُرَشBrushes ، وهي التي

تجمع من المبدّل الكهرباء المُخزَّنة في السلك الملفوف على البكرة.

وبما أن الفُرَش ثابتة لا تتحرك، يمكن تثبيت سلكين بها، ومن ثَم تُنقَل الأمبيرات من التيار الكهربائي، المدفوعة بضغط الفولتات، ليُستفاد منها في تشغيل المصابيح. ويجب أن تتذكر أنه ما دامت البكرة تدور فهي تجمع مزيدًا من الكهرباء طالما هناك مجال مغناطيسي يمر خلاله السلك. واستمرار دوران البكرة يولّد كهرباء كثيرة تُدفع خارج السلك عبر المبدّل إلى الفُرَش، ومنها تجد طريقها بعيدًا تحت ضغط الكهرباء الجديدة التي تتكوّن باستمرار.

بهذه الطريقة نحصل على تيار كهربائي مستمر في السلكين الخارجين من المبدّل، ويمكننا استخدامه لإضاءة المصابيح الكهربائية أو لأغراض نافعة أخرى.

لقد استعملنا في الشرح حتى الآن مغناطيسًا دائمًا من الفولاذ لتبسيط الفكرة، ولكن الآن بعدما فهمت كيف تُنتَج الكهرباء، علينا أن نشرح لك شيئًا عن المغناطيسات التي تُستخدم في آلات الدينامو. وربما يتضح ذلك أكثر بمثال آخر.

افترض أن لديك دينامو يُضيء 100 مصباح متوهّج، كل واحد منها مقاومته 200 أوم ويحتاج إلى ضغط 100 فولت. كل مصباح سيأخذ كمية محددة من الكهرباء، لنقل نصف

أمبير، إذن المئة مصباح تحتاج مئة ضعف هذه الكمية. ولكن لو أطفأت 50 مصباحًا مرة واحدة، فإن الضغط سيرتفع فوق 100 فولت المطلوبة للخمسين الأخرى، وقد يؤدي هذا إلى احتراقها بسرعة أكبر. لذلك من الواضح أنه يجب أن يكون لدينا وسيلة للتحكم في قوة المغناطيسية، بحيث نتحكم في عدد خطوط القوة التي يقطعها السلك في العضو الدوّار. ويمكننا فعل ذلك باستخدام مغناطيس كهربائي، لا باستخدام مغناطيس دائم، لأنه لا يمكننا بسهولة ضبط مقدار المغناطيسية التي يعطيها المغناطيس الدائم.

وهناك سبب آخر لعدم استخدام المغناطيسات الدائمة في الدينامو، وهو أنها لا تستطيع أن تُعطي قوة مغناطيسية بقدر ما يُعطيه المغناطيس الكهربائي.

وهكذا ترى أن هناك أسبابًا قوية جدًا لاستخدام المغناطيسات الكهربائية في صناعة آلات الدينامو. دعنا الآن نرى كيف تُصنع هذه المغناطيسات والدينامو‌ات، ثم نبحث الطرق التي تُتَّبع لتشغيلها واستخدامها.

ويجب أن تتذكر أولًا أنه عند الحديث عن الأسلاك المستعملة في المغناطيسات والعضو الدوّار، أو لنقل الكهرباء إلى المصابيح، فإننا نقصد دائمًا الأسلاك المعزولة .ففي الإضاءة الكهربائية يُستعمل السلك المعزول دائمًا، إلا في النقاط التي

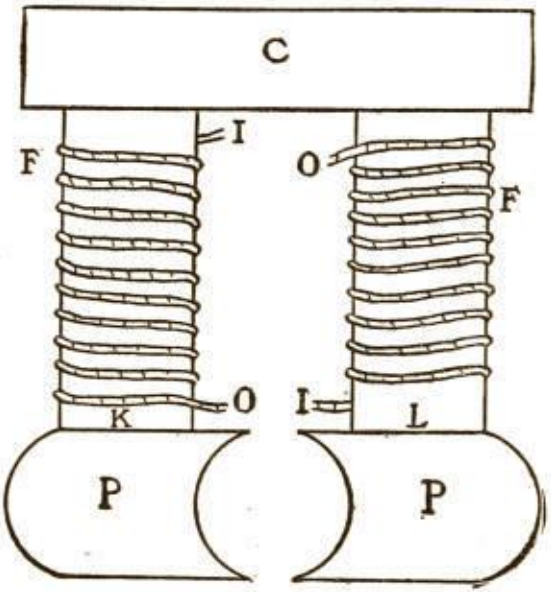
يُوصل فيها بالدينامو أو المصابيح أو المفاتيح، أو أي نقطة يُصنع عندها ما يُسمّى وصلة.Connection

وبما أن أشكال المغناطيسات تختلف في الديناموات التي اخترعها المخترعون المختلفون، فسوف نأخذ مثالًا للشكل الأقرب إلى شكل حدوة الحصان، وهو الشكل الذي يُستخدم عادة في توضيح مبدأ الدينامو. وهذا هو الشكل الذي استعمله السيد إديسون الذي ذكرناه سابقًا. هذا الشكل موضَّح في الشكل 20.

والآن، مع أن هذا المغناطيس يبدو قطعة واحدة، إلا أنه في الحقيقة مكوَّن من خمسة أجزاء مثبتة معًا بالمسامير لتُكوِّن عمليًا قطعة واحدة. وأسماء هذه الأجزاء كما يلي:

- F, F: القلبان(Cores)
- C: العارضة (Yoke) التي تربطهما معًا
- P, P: قطبا المغناطيس (Pole pieces) حيث تكون المغناطيسية أشد ما يمكن.

وهذه الأقطاب مستديرة الشكل لتستقبل العضو الدوّار، الذي تتذكر أنه هو الجزء الذي يدور.



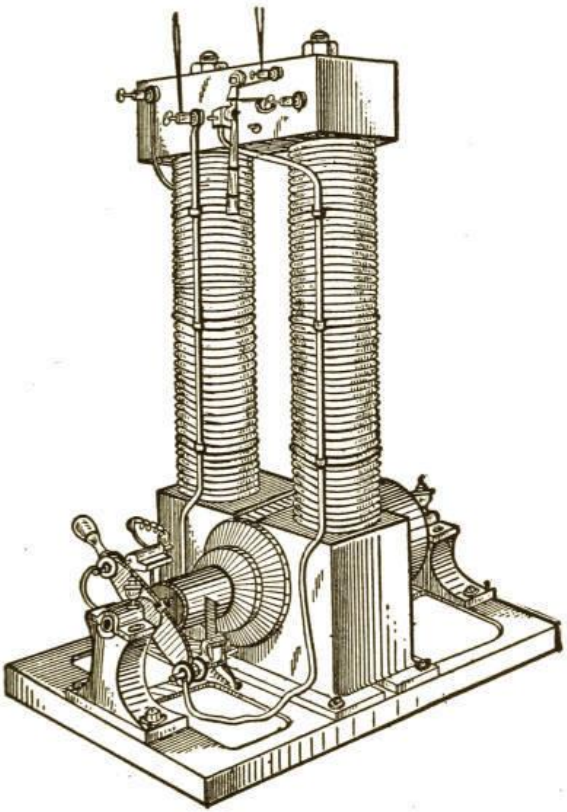
شكل 20

يتم أولاً لف القلبين F, F بعدد معيّن من اللفات السلكية، وهذا العدد يعتمد على الغرض الذي سيُصنع من أجله الدينامو.

وهكذا سيكون على كل قلب سلك ملفوف له نهايتان حُرّتان: بداية السلك ونهايته بعد إكمال اللف، أي أنه سيكون لدينا في المجموع أربع نهايات سلكية من القلبين معًا. وسوف نوضح لكم بعد قليل ما الذي يتم عمله بهذه النهايات.

بعد الانتهاء من لف القلوب، يتم ربطها بإحكام بالوصلة (العارضة) C وبقطع الأقطاب P, P، بحيث تكوّن في النهاية

قطعة واحدة متكاملة تقريبًا، لها شكل يشبه شكل المغناطيس على هيئة حدوة حصان.



شكل 21

الآن، لكي نُكمل الدينامو، لا بد أن نضع العضو الدوّار (الأرماتور) بين الأقطاب التي صُمِّمت بشكل مستدير لتلائمه.

هذا الأرماتور يُثبّت على عمود حديدي ويمسكه من طرفيه ما يُسمّى "الكرسيين" أو "المحامل"، كما يظهر في الرسم الكامل للدينامو (شكل 21).

الأرماتور في الدينامو العملي يتكوّن من بكرة كبيرة من صفائح حديدية رفيعة مُثبتة بإحكام معًا، ويمر في مركزها عمود فولاذي يدور حوله. تُلفّ هذه البكرة بعدد من الأسلاك النحاسية. والمبدّل (الكوميوتاتور) – بدلاً من أن يكون مكوَّنًا من قطعتين فقط – يُصنع في كثير من الدينامو هات بعدد من القطع يساوي عدد لفّات السلك، وتُثبت أطراف الأسلاك في هذه القطع بحيث تُشكّل عمليًا سلكًا واحدًا طويلاً، تمامًا كما أوضحنا سابقًا عند شرح كيفية توليد الكهرباء. وتقوم الفُرَش، التي تستند على المبدّل، بنقل التيار الكهربائي منه إلى الأسلاك المتصلة بها.

بهذا يكون الدينامو جاهزًا للعمل بمجرد توصيل الأطراف الأربعة الحرة للأسلاك الموجودة على القطبين. وإذا عدت إلى شكل 20 فستجد أن سلكين عُلمّا بالحرف(I) ، أي بداية اللفّ الداخلي، وسلكين آخرين عُلمّا بالحرف(O) ، أي نهاية اللفّ الخارجي. عند وصل الطرفين I) و (O معًا عند أعلى المغناطيس، يتكوّن سلك واحد يلتف حول قلب حديدي، ثم يعبر إلى القلب الآخر ويلتف حوله، ثم يخرج عند.(O)

حتى الآن سمّينا الحديد "مغناطيسًا"، لكنه في الحقيقة لا يصبح مغناطيسًا إلا بعد مرور الكهرباء في لفّاته. لذلك، عند تشغيل الدينامو لأول مرة، تُوصل نهايتا السلكين I) و (O ببطارية أو مصدر تيار خارجي. وما إن يمر التيار في الأسلاك حتى يتحول الحديد مباشرة إلى مغناطيس وتظهر خطوط القوة عند أقطابه. بعد ذلك، يُدار الأرماتور بسرعة بواسطة محرك بخاري، ومع دوران لفائفه عبر خطوط القوة بسرعة كبيرة، يتولّد تيار كهربائي غزير، يمرّ عبر المبدّل والفُرَش إلى المصابيح. ويستمر توليد الكهرباء ما دام الأرماتور يدور والبطارية موصولة.

لكن البطارية مطلوبة فقط في المرة الأولى، وسنوضح السبب: الحديد لا يحتفظ بالمغناطيسية بشكل دائم كالصلب، لكنه يحتفظ ببقايا ضعيفة منها بعد شحنه جيدًا. فعندما يتوقف الدينامو بعد التجربة الأولى وتُفصل البطارية، يبقى أثر ضعيف من المغناطيسية عند الأقطاب، غير كافٍ لجذب إبرة أو برادة حديد، لكنه يخلق خطوط قوة ضعيفة جدًا.

بعد نزع البطارية، يُوصل سلكا القطبين بدلاً من ذلك بالأسلاك القادمة من الفُرَش نحو المصابيح. وهكذا، حين يبدأ الأرماتور بالدوران مرة أخرى من دون بطارية، فإن لفائفه تقطع تلك الخطوط الضعيفة، فتولّد تيارًا ضعيفًا يخرج عبر الفُرَش إلى المصابيح، ويعود قسم منه ليمر عبر الأسلاك

الملفوفة حول القطبين. هذا التيار يعزّز المغناطيسية، فتصبح الخطوط أقوى، ويتولّد تيار أكبر، والذي بدوره يزيد من قوة المغناطيس أكثر فأكثر، حتى يصل الدينامو إلى طاقته الكاملة.

بالطبع، كلما زادت قوة المغناطيس زادت خطوط القوة وبالتالي زاد التيار المتولّد. لكن هناك حدٌّ طبيعي يُسمّى "التشبع(Saturation) "، حيث يصل الحديد إلى أقصى ما يمكن أن يحمله من مغناطيسية ولا يزداد أكثر. في التصميم العملي لا تُشحن مغناطيسات الدينامو غالبًا إلى أقصى درجة تشبع.

المصابيح

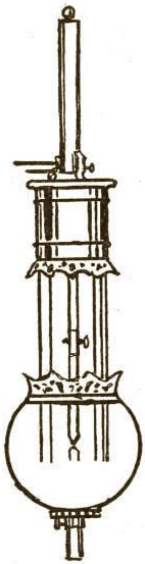
الآن بعد أن عرفنا كيف يُنتَج التيار الكهربائي، لننتقل إلى الأسلاك لنعرف كيف تتحول الكهرباء إلى ضوء، سواء في صورة إضاءة قوية جدًا أو ضوء أخف وأكثر لطفًا.

لنأخذ أولاً الأضواء الساطعة التي نراها في الشوارع، وتُسمى:

مصابيح القوس(Arc-Lights)

من رأى هذه المصابيح سيتعرف عليها في الصورة (شكل 22). فهي تحتوي على قضيبين أو "قلمين" من الكربون. ولعلّك تتذكر من فصل المغناطيسية أننا لا نستفيد من الكهرباء

إلا إذا وضعنا في طريقها شيئًا من المقاومة. في حالة المصباح الكهربائي، نحصل على الضوء لأن الكهرباء تُجبر على المرور خلال مقاومة داخل المصباح، وهذا المرور هو العمل الذي يؤدي إلى إصدار الضوء.



شكل 22

عندما نولد الكهرباء في الدينامو ونضع لها سلكين لتسير فيهما، يذهب التيار مبتعدًا عن الدينامو عبر أحد السلكين ثم يحاول العودة إلى الدينامو عبر السلك الآخر إذا وجد الفرصة. والآن، الكهرباء التي يتم توليدها باستمرار تملأ الأسلاك وتعمل كضغط لدفع التيار عبر الأسلاك عائدًا إلى الدينامو، وإذا لم نضع أي مقاومة أو عائق في الطريق، فسيجد التيار

مسارًا سهلًا جدًا يمر فيه ولن يقوم بأي عمل على الإطلاق. والأسلاك التي توصل إلى المصباح الكهربائي يجب أن تكون مقاومتها قليلة جدًا، بحيث لا تطلب من التيار أي جهد يُذكر كي يمر خلالها.

فإذا قرّبنا قضيبَي الكربون في مصباح القوس الكهربائي من بعضهما، فإنهما يُشكلان جزءًا من السلك نفسه، ولا يقطعان مسار التيار في رحلته. ولكن إذا فصلنا القضيبين، صنعنا فجوة يجب على التيار أن يقفز عبرها إذا أراد الاستمرار. ونظرًا لأن الجهد (الفولت) أو الضغط عالٍ جدًا، فإن التيار يُجبر على القفز، وهذا ضد المقاومة الموجودة في مصباح القوس، وهو ما يجعل التيار يبذل جهدًا كبيرًا. بل إن التيار يجد صعوبة بالغة في القفز عبر هذه الفجوة لدرجة أنه ينتزع من أحد قضيبَي الكربون وابلًا من الجزيئات الدقيقة جدًا أشبه بالذرات، ويسخنها حتى تصير بيضاء متوهجة في أثناء انتقالها إلى القضيب الآخر. وهذا الوميض من الغبار الكربوني الدقيق، مع أطراف القضيبين وقد صارت بيضاء متوهجة، هو ما يُنتج الضوء الساطع الذي تراه في مصباح القوس.

وبالطبع، بعد أن يقفز التيار من قضيب الكربون الأول إلى الآخر، يمر عبره إلى السلك، ثم يواصل سيره إلى المصباح

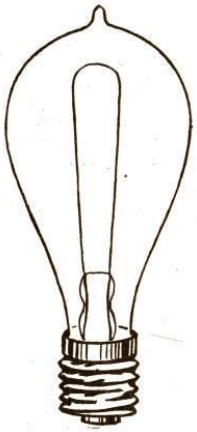
التالي حيث يقفز مجددًا، وهكذا حتى يمر عبر آخر مصباح، ثم يجد مسارًا سهلًا للعودة إلى الدينامو.

الآن، نريدك أن تفهم بوضوح أكثر كيف أن وجود مقاومة كبيرة يؤدي إلى توليد حرارة، لذلك سنعطيك مثالًا بسيطًا.
معظمكم يعرف أنه إذا أمسكت بحبل بقوة في يديك بينما يشدّه شخص آخر بسرعة وقوة عبرهما، فإن الحبل يسخن كثيرًا وتشعر وكأن يديك تحترقان. هذه الحرارة سببها مقاومة يديك لمرور الحبل، ولو تمكنت من الإمساك بقوة أكبر بينما يُسحب الحبل بسرعة أكبر، فإنه قد يشتعل. وهذا الاشتعال سيُنتج بدوره حرارة وضوءًا.
وهذا بالضبط نفس المبدأ: مقاومة مرور التيار هي ما يُسبب الضوء في مصباح القوس، كما أوضحنا لك.

المصابيح المتوهجة
لقد تعلّمت للتو أن الضوء في مصباح القوس الكهربائي ينشأ من انتزاع التيار لجزيئات صغيرة من أعواد الكربون وتسخينها حتى تتوهج بشدة. ولهذا ترى أنه في مصباح القوس يحدث تآكل للكربون بواسطة الكهرباء، ولهذا فإن هذه القضبان أو الأقلام الكربونية مع الوقت تُستهلك تمامًا. وفي الاستخدام العملي تدوم قضبان الكربون نحو ثماني أو عشر ساعات، ثم يجب استبدالها بأخرى جديدة.

أما في المصباح المتوهج فيُستخدم الكربون أيضًا، لكن الضوء لا ينتج عن احتراق الكربون أو تآكله، كما سنُبين لك الآن.

الصورة أدناه ستُريك شكل المصباح المتوهج. (شكل 23)

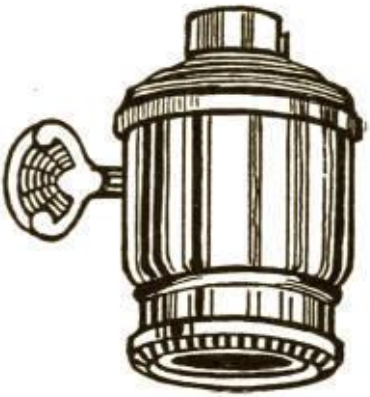


شكل 23

سترى أن هذا المصباح يتكوّن من كرة زجاجية على شكل كمثرى، وداخلها شريط طويل من الكربون على شكل حرف U لا يزيد سمكه عن سمك الخيط العادي. هذا الشريط مصنوع من قصب الخيزران[1] الذي تم تحويله بالكربنة إلى خيط من الفحم. وهو موصول بسلكين يخرجان عبر الزجاج. هذان السلكان ينزلان عبر أسفل الكرة الزجاجية، وأحدهما مثبت في حلقة نحاسية لولبية، بينما الآخر مثبت في زر نحاسي عند قاعدة المصباح. وكما تعلم، يجب أن يكون هذان

(الحلقة والزر) منفصلين عن بعضهما بمادة لا توصل الكهرباء، وإلا لحدث قصر كهربائي عند مرور التيار. نحن نفصل بين الحلقة والزر بعدة طرق.

الآن، إذا أخذنا طرفي سلكين مشحونين بكمية مناسبة من الكهرباء، ووضعنا أحدهما على الحلقة اللولبية والآخر على الزر، فإن المصباح سوف يضيء، لأن هناك مسارًا كاملًا للتيار ليسير فيه.



شكل 24

سيكون واضحًا لك، مع ذلك، أن إشعال المصابيح بهذه الطريقة سيكون أمرًا غير مريح، لذلك نستخدم "سوكت" يُثبت فيه المصباح بالبرغي. (شكل 24).

الأسلاك القادمة من الدينامو الحاملة للكهرباء تكون موصولة بالسوكت، أحدهما مع القلاووظ الذي يدخل فيه حلقة البرغي، والآخر مع زر يلامس الزر الموجود في أسفل المصباح عند ربطه في السوكت. وبهذا نحصل على مسار متصل لمرور التيار الكهربائي، أو كما يُسمى "دائرة كاملة."

ستلاحظ أن الكهرباء في المصباح المتوهج لا تحتاج إلى القفز كما في مصباح القوس، لأننا نعطيها خطًا مستمرًا لتسير فيه. ولكي نجعل التيار يقوم بعملٍ ما لصالحنا، فإننا نضع مقاومة في طريقه، يجب عليه أن يتغلب عليها ليعود إلى الدينامو. والمقاومة في المصباح المتوهج هي شريط الكربون على شكل U (أو كما يُسمى "الفتيلة"). هذه الفتيلة الكربونية لها مقاومة أكبر بكثير من الأسلاك، فهي تعارض أو تقاوم مرور الكهرباء خلالها؛ لكن التيار الكهربائي لابد أن يمر، وبما أنه قوي بما يكفي لفرض طريقه، فإنه يتغلب على هذه المقاومة ويمر عبر الكربون إلى السلك عند الطرف الآخر. ترى هنا أنه صراع بين الكربون والكهرباء: التيار مصمم على المرور، والكربون يحاول منعه؛ وفي النهاية، تنتصر الكهرباء لأنها الأقوى، لكن الصراع كان عنيفًا لدرجة أن الكربون ارتفع حرارته إلى درجة التوهج الأبيض، أو

"الاحتراق بالتوهج"، فيصدر ضوءًا جميلاً يستمر ما دام التيار الكهربائي يتدفق.

تتذكر أنه في مصباح القوس يتم استهلاك أعواد الكربون تدريجيًا ويجب استبدالها. أما لو كانت فتيلة المصباح المتوهج تُستهلك، فلن تصمد سوى بضع دقائق، لأنها لا تزيد عن سُمك شعرة حصان. وربما تسأل الآن: لماذا لا تحترق هذه الفتيلة الدقيقة عند تعرضها لحرارة عالية كهذه؟ حسنًا، سنخبرك.

أنت تعرف أنه إذا أشعلت عود ثقاب وتركته يحترق، فإن الخشب سيُستهلك كله. لكن، هل جربت يومًا أن تشعل عود ثقاب ثم تضعه في زجاجة صغيرة وتغلقها بالفلين؟ إن لم تفعل، فجرب الآن كتجربة، وسترى أن عود الثقاب سيبقى مشتعلاً للحظة قصيرة ثم ينطفئ من تلقاء نفسه دون أن يستهلك الخشب.

الأسباب بسيطة جدًا: من أجل احتراق أي شيء بالكامل، من الضروري وجود غاز يُسمى الأكسجين، وبما أن الهواء الذي تعيش فيه يحتوي على كمية كبيرة من الأكسجين، فهناك ما يكفي وأكثر في غرفتك ليجعل خشب عود الثقاب يحترق تمامًا بعد اشتعاله. لكن في الزجاجة الصغيرة كمية الأكسجين قليلة جدًا، ولا تكفي للحفاظ على الاشتعال، لذلك يتوقف الحريق ولا يستهلك الخشب.

أما سبب عدم احتراق فتيلة المصباح المتوهج فهو عدم وجود أكسجين داخل الكرة الزجاجية. بعد وضع الكربون في مكانه، يُسحب كل الأكسجين من الداخل عبر أنبوب، ثم يُغلق الزجاج بحيث لا يدخل أي أكسجين جديد. هذا يُسمى الحصول على "تفريغ هوائي"، وكلمة "تفريغ" تعني فراغًا بلا هواء.

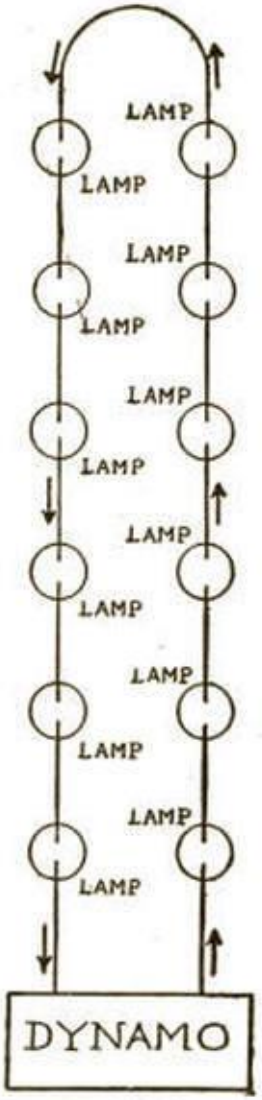
وبما أنه لا يوجد أكسجين داخل الكرة الزجاجية، فمن المستحيل أن يحترق الكربون؛ لذلك يواصل المصباح المتوهج إعطاء الضوء لفترة طويلة جدًا، حيث يمكن أن يستمر بعضها آلاف الساعات. لكن في النهاية، ولأسباب مختلفة غير واضحة، تضعف الفتيلة في موضع معين وتتكسر، فينطفئ الضوء. وعند حدوث ذلك، نفك المصباح ونضع آخر مكانه، فيعود النور كالمعتاد.

الآن تعلمت كيف يعطي المصباح المتوهج الضوء. ونضيف أنه ضوء جميل، ناعم، أبيض، يكاد يخلو من الحرارة، لا ينفجر، ولا يطلق غازات سامة مثل مصابيح الغاز أو الزيت، وله العديد من ميزات الراحة والملاءمة التي تجعله مرغوبًا جدًا.

أسلاك الضوء الكهربائي

قبل أن نختم موضوع الضوء الكهربائي، قد تحب أن تعرف

شيئًا عن الطريقة التي نمد بها الأسلاك الموصلة إلى المصابيح.



شكل 25

إذا كنتَ تتذكر ما أخبرناك به عن القياسات في بداية هذا الكتاب، فسيسهل عليك فهم ما يلي:
أنت تعرف أنه إذا كان لديك ضغط كهربائي عالٍ جدًا، يمكنك أن تدفع كمية من التيار عبر موصل صغير. وهذا هو المبدأ الذي تعمل به مصابيح القوس. كل مصباح قوسي يحتاج إلى حوالي 40إلى 50 فولت، ومن 5إلى 10 أمبيرات لإنتاج الضوء، ويتم توصيلها بالأسلاك كما هو موضح في الشكل 25.

هذا يُسمى تشغيل المصابيح على "التوالي"، وكما سترى من الرسم، يبدأ السلك من الدينامو ويتصل بأحد أقطاب الكربون في المصباح القوسي الأول، ثم يتصل القطب الآخر بسلك آخر يذهب إلى المصباح التالي، وهكذا حتى نصل إلى آخر مصباح، ومن ثم يعود السلك إلى الدينامو. وبهذا يتشكل، عمليًا، حلقة مستمرة واحدة من فرشاة إلى الأخرى في الدينامو.

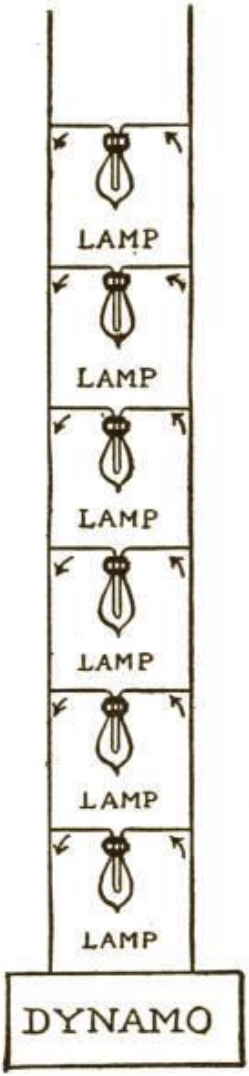
التيار يبدأ بالخروج، يمر عبر المصباح الأول، ثم ينتقل إلى الثاني، ويكمل مروره عبره، وهكذا حتى يقفز من الأخير، ثم يعود إلى الدينامو.

الآن، بما أن كل قفزة تحتاج إلى ضغط كهربائي يتراوح بين 40أو 50 فولتًا، فسوف ترى بسهولة أن مجموع الضغط (بالفولت) يجب أن يساوي هذا المقدار مضروبًا في عدد المصابيح المراد إضاءتها. لذلك، إذا كان هناك 60مصباحًا في الدائرة، فسيكون الضغط الكلي بين 2400إلى 3000 فولت، وهو جهد، رغم أنه يعطي إضاءة رائعة، إلا أنه قد يُسبب الموت الفوري لأي شخص يلمس الأسلاك.

افترض أن شيئًا ما حدث للمصباح الأول ومنع التيار من القفز خلاله. عندها لن يكون هناك مسار يسلكه التيار، وبالتالي ستنطفئ جميع المصابيح. ولتجاوز هذه المشكلة، يُستخدم أحيانًا ما يُسمى بـ "المفرع(shunt) "، وهو لا يعمل إلا عندما لا يضيء المصباح. هذا المفرع ينقل التيار حول المصباح إلى السلك الآخر بحيث يستمر التيار في المرور ويُضيء باقي المصابيح.

الأسلاك الخاصة بالمصابيح المتوهجة

أما بالنسبة لأسلاك المصابيح المتوهجة، فهي تُوصَّل بطريقة مختلفة تمامًا، ويمكنك ملاحظة ذلك بمقارنة الشكل A 25مع الشكل 25الذي يُظهر توصيلات مصابيح القوس.



25 A (25 امبير)

يسمى هذا التوصيل "التوصيل على التوازي multiple) "

arc).
ستلاحظ أن السلكين الخارجين من الدينامو (ويسميان الأسلاك الرئيسية (لا يشكلان دائرة واحدة متصلة كما في نظام مصابيح القوس الكهربائي، بل يتم توصيل سلك أصغر بأحد السلكين الرئيسيين، ثم يُربط بحلقة البرغي في قاعدة المصباح؛ ثم يوصل سلك آخر بالزر الموجود في القاعدة وبعدها يُشبك بالسلك الرئيسي الآخر. وبذلك يشكل كل مصباح مسارًا مستقلًا يستطيع التيار أن يمر من خلاله عائدًا إلى الدينامو.

الآن، إذا قمنا بإطفاء أحد هذه المصابيح المتوهجة، فإننا نغلق ببساطة أحد هذه المسارات، فيسلك التيار طرقًا أخرى عبر المصابيح الأخرى. وإذا أردنا، يمكننا إطفاء جميع المصابيح عدا واحد فقط، وسيبقى هناك طريق يعود منه التيار إلى الدينامو.

في مصابيح القوس نحتاج إلى ضغط كهربائي (فولت) عالٍ جدًا، لأن الكهرباء لها مسار واحد فقط، وعليها أن تمر عبر المصباح الأول ثم الذي يليه حتى تصل إلى الأخير. أما في المصابيح المتوهجة فللكهرباء عدد من المسارات بعدد المصابيح نفسها، لذلك نحتاج فقط إلى الحفاظ على ضغط واحد محدد بالفولت في الأسلاك الرئيسية طوال الوقت. ويظل هذا الضغط متساويًا في جميع أجزاء الأسلاك الرئيسية، ولهذا

فهو جاهز لإضاءة أي مصباح بمجرد تشغيله، لأنك كما تعلم، الكهرباء تعود دائمًا إلى الدينامو إذا وجدت طريقًا ممكنًا، والمصباح يفتح لها مسارًا.

الضغط بالفولت المطلوب لتشغيل أي عدد من المصابيح المتوهجة أقل بكثير من الضغط اللازم لتشغيل عدد من مصابيح القوس.
على سبيل المثال: في نظام إديسون يكون الضغط (المسمى أحيانًا "القوة الدافعة الكهربائية") حوالي 110فولت فقط، وهو ضغط ضعيف نسبيًا وغير خطر إطلاقًا. وتبقى هذه القوة الدافعة الكهربائية نفسها سواء وُجد مصباح واحد مضاء أو عشرة آلاف مصباح.

ومع أن تيار إديسون هذا لا يؤذي أحدًا، يجب أن تتذكر أن من الأفضل دائمًا عدم لمس أي أسلاك كهرباء للإنارة حتى تتعلم أكثر بكثير عن هذا الموضوع.

نضيف أيضًا أن كل مصباح متوهج قياسي يحتاج إلى حوالي ربع أمبير فقط ليعطي ضوءًا بقوة 16شمعة، وهو ما يعادل ضوء شعلة غاز جيدة جدًا. وبينما تبقى القوة الدافعة الكهربائية أو الضغط حوالي 110 فولت فقط سواء كان هناك مصباح واحد أو عشرة آلاف، إلا أنه يجب أن تكون كمية

التيار (الأمبيرات) في الأسلاك كافية لإعطاء كل مصباح الكمية المناسبة.

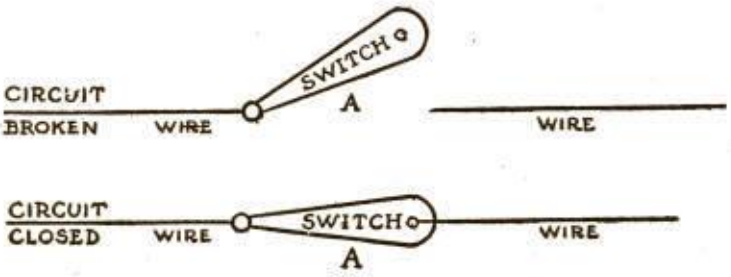
المفاتيح(SWITCHES)

لقد ذكرنا عدة مرات تشغيل أو إطفاء مصباح أو أكثر، وربما ترغب الآن أن تعرف كيف يتم ذلك.

افترض أن الكهرباء كانت تسير عبر الأسلاك إلى مصباح أو عدة مصابيح، فستضيء هذه المصابيح ما دامت الأسلاك توفر مسارًا للتيار، لكن إذا قطعت أحد هذه المسارات – ويُسمى ذلك "كسر الدائرة – "فلن يبقى هناك طريق تسلكه الكهرباء، وبالتالي سيتوقف مسارها فورًا وتنطفئ المصابيح.

تذكر أن الكهرباء لا بد أن يكون لها دائرة كاملة وإلا فلن تستطيع القيام بأي عمل. وفي الإنارة الكهربائية دائمًا ما تكون الدائرة معدنية بالكامل.

الآن، المفتاح ببساطة هو جهاز يُستخدم لكسر الدائرة بحيث لا يستطيع التيار المرور. وأبسط شكل من أشكال المفاتيح يظهر في الرسم (شكل 26).



شكل 26

سترى أن هناك سلكًا مقطوعًا إلى قسمين، وقد ثُبّت بقطعة منه جزء معدني يُسمّى A، يمكن أن يدور في اتجاه أو آخر، وعندما يُدار بحيث يلامس الجزء الآخر من السلك تُغلق الدائرة، ويمر التيار من الجزء السفلي من السلك عبر القطعة المعدنية A إلى الجزء الآخر من السلك، وبهذا يكتمل المسار الذي يسير فيه التيار.

أما إذا أدرنا القطعة A بعيدًا عن السلك العلوي فإن الدائرة تتقطع وينفصل المسار، وبالطبع ستنطفئ المصابيح.

هذا هو مبدأ المفتاح الكهربائي، وعلى الرغم من وجود آلاف الأشكال المختلفة له، فإن جميع المفاتيح تؤدي الغرض نفسه، وهو غلق أو قطع الدائرة، سواء لمصباح واحد أو لمئة مصباح.

الأسلاك في الدينامو(WIRE ON DYNAMOS)

عندما شرحنا تركيب وعمل ماكينات الدينامو لم نذكر شيئًا عن كمية الأسلاك المستخدمة في لف الماكينة.

وليس قصدنا أن نقول بالضبط كم يُستخدم في أي دينامو معين، لأن ذلك من الأمور التي ستتعلمها لاحقًا عندما تدرس موضوع الكهرباء بعمق أكبر.

ما نريدك أن تفهمه هو أن عدد لفات السلك في أي ماكينة يحدد مقدار التأثير الذي يحدثه ذلك السلك – أثناء حمله للكهرباء – على وزن معين من الحديد عند دوران الملف (الآرميتشَر) عددًا محددًا من الدورات في الدقيقة.

عدد معين من لفات السلك على ملف دينامو لا يمكن أن يعطي أكثر من مقدار محدد من العمل. لذلك سترى أن الدينامو الصغير لا ينتج كهرباء بقدر ما ينتجه دينامو أكبر يحتوي على كمية أكبر من الحديد والأسلاك. وللحصول على ضغط عالٍ (فولتية عالية) يجب أن تكون هناك لفات أكثر من السلك تقطع خطوط القوة بتكرار أكبر مما هو مطلوب للفولتية المنخفضة؛ ولإنتاج عدد كبير من الأمبيرات يجب أن يكون الملف (الآرميتشر) أكبر وأن يكون السلك الملفوف عليه أكثر سُمكًا مما يحتاجه الأمر إذا كان المطلوب فقط عدد قليل من الأمبيرات.

هذا بحد ذاته موضوع عميق ومعقد، وقد كُتبت فيه كتب كثيرة وحده. لذلك لن نحاول التوسع فيه أكثر في هذا الكتاب الصغير، بل نكتفي بإعطائك الفكرة العامة، وهو ما سيكون كافيًا إلى أن تدرس الموضوع بشكل شامل.

الفصل الثامن(VIII)

القدرة الكهربائية(ELECTRIC POWER)

من أكثر الاستخدامات العملية للكهرباء هو إنتاج القدرة الحركية لتشغيل جميع أنواع الآلات، من ماكينة الخياطة وحتى القطار، وسنحاول الآن شرح كيف يمكننا الحصول على هذا النوع من العمل من الكهرباء.

في البداية أنتم جميعًا تعرفون أن أي آلة تعمل عادةً عن طريق تدوير عجلة هي جزء من الآلة، سواء بواسطة محرك بخاري، أو قوة الماء، أو في حالة ماكينة الخياطة بقوة القدم. عندما نشغّل آلة بالكهرباء، نفعل الشيء نفسه، ولكن بدلاً من المحرك البخاري أو الماء أو القدم نستخدم محركًا كهربائيًا (electromotor)، وهو يعمل بنفس الطريقة تمامًا، أي أنه يدير عجلة الآلة المتصل بها.

قوة القدم عمل شاق للشخص الذي يطبقها، وكما ترى فإن الشخص الواحد لا يمكنه إنتاج إلا قدرة قليلة جدًا بهذه الطريقة.
أما القوة البخارية أو قوة الماء فيمكن استخدامها لإنتاج كميات كبيرة من القدرة، لكن العمل يجب أن يكون ضمن بضع مئات الأقدام من مكان المحرك، وإلا فلن يكون بالإمكان نقل القوة.

فمثلًا، إذا كان هناك مصنع يستخدم البخار ويبعد عنك شارعين، ولديك في بيتك مخرطة وتريد تشغيلها بقوة البخار من المصنع، فسيكون ذلك عمليًا مستحيلًا .ولو كان المصنع أبعد، لكان الأمر أكثر استحالة، وإذا كان يبعد ميلًا واحدًا لكان من السخف أن تفكر أصلاً في جلب البخار من هناك.

لكن، تخيل أن هذا المصنع كان مضاءً بالكهرباء، عندها سيكون من السهل جدًا أن تأخذ بعض القدرة إلى بيتك. يمكن فعل ذلك، حتى لو كان المصنع يبعد أميالًا، وذلك عبر مد سلكين من أسلاك الإنارة الخاصة بالمصنع إلى بيتك وربطهما بمحرك كهربائي متصل بمخرطتك. هذا المحرك الكهربائي سيدير المخرطة كما لو كانت متصلة مباشرة بمحرك بخاري.

إذن، ترى أن القدرة يمكن نقلها على شكل كهرباء عبر سلكين لمسافات بعيدة جدًا، واستخدامها في مكان بعيد عن المحرك الذي يُدير الدينامو المولد للكهرباء. وبهذا يمكن أن تدخل إلى بيتك أسلاك تعطيك إنارة، وفي الوقت نفسه قدرة لتشغيل ماكينة خياطة، أو مخرطة، أو أي آلة أخرى.

وبعد أن عرفنا أن الدينامو ينتج تيارًا مستمرًا من الكهرباء، وأن السلكين ينقلان هذا التيار إلى أي مكان نحتاجه، فلنرَ الآن ماذا يحدث داخل المحرك الكهربائي (electromotor) لتحويل الكهرباء إلى قدرة.

المحرك الكهربائي(THE MOTOR)

تتذكر أن الآرميتشر عبارة عن بكرة ملفوفة بسلك، وهذه البكرة مصنوعة من صفائح حديدية مثبتة معًا لتشكيل قطعة واحدة صلبة.

يمكن صنع آرميتشر المحرك بنفس الطريقة؛ في الحقيقة، فإن المحرك هو عمليًا ماكينة دينامو.

وهنا شيء إضافي عن المغناطيسية سنشرحه، لأنه سيساعدك على فهم علاقة ذلك بالمحرك الكهربائي.

إذا أخذنا قطعة حديد عادية وقربنا أحد طرفيها من أحد أقطاب المغناطيس (دون أن تلامسه)، فإن هذه القطعة من الحديد ستصبح بحد ذاتها مغناطيسًا ضعيفًا طالما بقيت في هذا الوضع. وهذا ما يسمى المغناطيسية بالتحريض (induction).

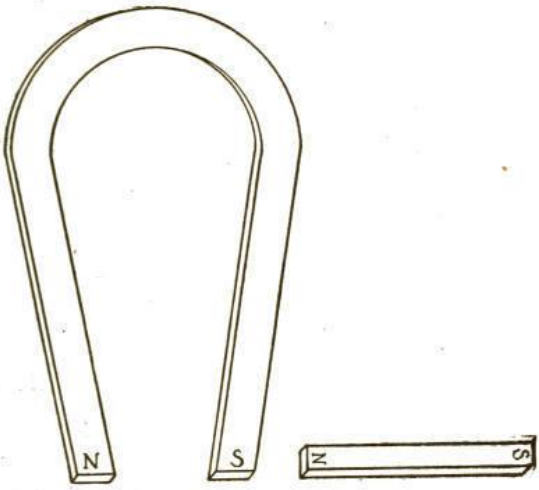
ويكون الطرف الأقرب من الحديد ذا قطبية معاكسة لقطب المغناطيس؛ فإذا كان قطب المغناطيس شماليًا، فإن الطرف الأقرب من الحديد سيكون جنوبيًا، وبالطبع الطرف الآخر سيكون شماليًا.

لتوضيح ذلك أكثر يظهر لنا الرسم التالي (شكل 27).

وسيكون الأمر نفسه سواء كان المغناطيس دائمًا أو كهربائيًا.

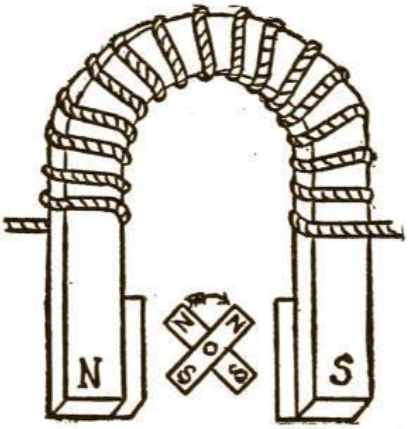
وتتذكر أيضًا أن القطب الشمالي لمغناطيس يجذب القطب الجنوبي لمغناطيس آخر، لكنه يصد القطب الشمالي.

هذه المبادئ هي التي تُستخدم في المحرك الكهربائي، وسنحاول الآن أن نوضح كيف يتم تطبيقها عمليًا



مغناطيس حديدي دائم من الصلب
شكل 27

مع أن المحرك يُصنع بنفس طريقة الدينامو، إلا أننا سنعرض هنا شكلاً مختلفاً عن الدينامو الذي تم شرحه سابقاً، وذلك لأنه سيساعدك على الفهم بشكل أسهل. (انظر شكل 28). هنا نرى مغناطيساً كهربائياً بأقطابه، ومعه قلب حديدي (أرماتور) ملفوف بالأسلاك، تماماً كما في الدينامو الذي وصفناه، باستثناء أن شكله مختلف.



شكل 28

يُستخدم أيضًا المُبدِّل (Commutator) والفُرَش، ولكن الكهرباء هنا بدلاً من أن تُسحب من الفُرَش يتم تزويدها إليها بواسطة الأسلاك المتصلة بها. كما يتم توصيل سلكين آخرين يمران بجزء من الكهرباء حول المغناطيس، تمامًا كما في الدينامو.

الآن، عندما يُوجَّه ضغط الفولتات وشدة التيار الكهربائي القادم من الدينامو أو البطارية إلى الأسلاك المؤدية إلى فُرَش المحرك، يمر التيار عبر المُبدِّل إلى الأرماتور وحول المغناطيس، فينشأ بذلك خطوط القوى عند الأقطاب ويُغنطِس حديد الأرماتور.

فلنرَ ما تأثير ذلك:
تصبح أقطاب المغناطيس شمالية وجنوبية، وكذلك أطراف الأرماتور الأربعة تُصبح قطبين شماليين وقطبين جنوبيين.

بالعودة إلى شكل 28 سنرى ما يحدث:
القطب الشمالي للمغناطيس يقوم بأمرين معًا؛ فهو يصدّ القطب الشمالي العلوي للأرماتور (يدفعه بعيدًا)، وفي الوقت نفسه يجذب نحوه القطب الجنوبي السفلي للأرماتور. وفي المقابل، فإن القطب الجنوبي للمغناطيس يصدّ القطب الجنوبي للأرماتور، وفي الوقت نفسه يجذب القطب الشمالي للأرماتور نحوه.

وبالطبع، فإن ذلك يجعل الأرماتور يدور حول محوره. وعندما تعود نفس الأقطاب لتواجه المغناطيس تتأثر بالطريقة نفسها، فيستمر الأرماتور بالدوران مرة أخرى، وتستمر هذه العملية ما دام التيار الكهربائي يتدفق عبر الأسلاك إلى الفُرَش. وبهذا يدور الأرماتور بسرعة وقوة كبيرتين، ويمكنه تشغيل أي آلة متصل بها.

تعتمد سرعة وقوة المحرك على كمية الحديد والأسلاك المستخدمة فيه، وكذلك على ضغط الفولتات وشدة التيار الكهربائي المزوَّد للفُرَش. وتُصنَع المحركات بأحجام تبدأ من الصغيرة القادرة على تشغيل آلة خياطة، وصولاً إلى الكبيرة

التي تشغل قطارات السكك الحديدية. وغالبًا ما تعمل هذه المحركات عبر أسلاك تمتد لمسافات بعيدة جدًا عن المكان الذي يُولَّد فيه التيار، قد تصل إلى عدة أميال.

كما تُصنع المحركات بأشكال مختلفة كثيرة، ولكن المبدأ في جميعها يكاد يكون واحدًا، كما شرحناه للتو.

الفصل التاسع

البطاريات

حتى الآن لم نصف سوى طريقة واحدة لإنتاج الكهرباء، وهي باستخدام آلة الدينامو التي تُدار بالبخار أو بقوة الماء. ويستمر تدفق الكهرباء الناتج بهذه الطريقة ما دام البخار أو الماء يُشغِّل الدينامو.

لكن هناك طريقة أخرى مختلفة تمامًا لإنتاج الكهرباء، وهي عن طريق عملية كيميائية في ما يُسمى بالبطارية.

للحصول على الكهرباء من الدينامو لا بد أن ننفق المال على الفحم اللازم لتوليد البخار الذي يُشغِّل المحرك البخاري، أو على الماء الذي يُدير عجلة الماء، إضافة إلى تكلفة المهندس في الحالتين. أما عند الحصول على الكهرباء من البطارية فلا بد من إنفاق المال على المواد الكيميائية والمعادن التي تُستهلك باستمرار داخلها.

البطاريات الأولية

البطارية الكهربائية هي جهاز تعمل فيه مادة أو أكثر من المواد الكيميائية على التأثير في معدن مع الكربون، أو على

معدنين مختلفين، فينتج عن ذلك تيار كهربائي يستمر ما دام التفاعل الكيميائي قائمًا بين هذه العناصر.

يمكن تقسيم البطاريات المستخدمة لإنتاج الكهرباء إلى نوعين رئيسيين: بطاريات "الدائرة المفتوحة" وبطاريات "الدائرة المغلقة."

- بطاريات الدائرة المفتوحة تُستخدم عندما لا تكون هناك حاجة للكهرباء بشكل متواصل، مثل الهواتف، الأجراس الكهربائية، أجهزة إنذار السرقة، إشعال الغاز، وأجهزة التنبيه.
- بطاريات الدائرة المغلقة تُستخدم عندما يكون المطلوب أن يستمر الأثر الكهربائي بشكل دائم كل لحظة، مثلًا في المصابيح الكهربائية والمحركات.

تُصنَع بطاريات الدائرة المفتوحة بطرق عديدة ومختلفة، لكننا سنصف فقط اثنتين من أهم أشكالها.

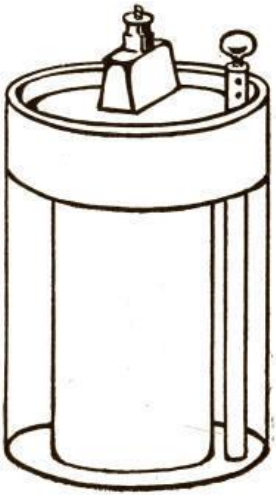
كما ذكرنا سابقًا في هذا الكتاب، نحن لا نعرف بالضبط ما هي الكهرباء، ولا لماذا تتولد في الظروف التي تتوفر في البطارية. لكننا نعلم أن اتباع طرق معينة وإجراء تراكيب كيميائية محددة يُمكّننا من إنتاج ما نريد من الكهرباء وبالمقادير التي نحتاجها.

العنصران المكونان للبطارية – أي المعدن مع الكربون، أو المعدنان المختلفان – يُسمَّيان "العناصر"، وهي التي تتصل بها الأسلاك الناقلة للكهرباء إلى الأجهزة التي تعمل بها.

بطارية لوكلانشيه:(Leclanché)

هذا النوع من بطاريات الدائرة المفتوحة يتكون من وعاء زجاجي تُوضَع بداخله العناصر. أحد العنصرين عبارة عن قضيب من الزنك، أما الآخر فهو الكربون مع مسحوق أكسيد المنغنيز الأسود. يوضع الكربون مع أكسيد المنغنيز في إناء خزفي يُسمى "الكوب المسامي"، وهو عبارة عن إناء صغير من الطين غير المزجج. وهكذا فإن السائل الموجود في الوعاء الزجاجي ينفذ من خلال جدار الكوب المسامي فيصل إلى الكربون والمنغنيز بداخله، فتؤثر المواد الكيميائية في هذين العنصرين وكذلك في الزنك في الوقت نفسه، إذ كما تذكر، للحصول على الكهرباء لا بد أن يحدث التفاعل الكيميائي في الوقت ذاته على كلا العنصرين داخل الوعاء نفسه. (انظر شكل 29).

المادة الكيميائية المستخدمة في هذه البطارية هي "ملح النشادر (Sal-ammoniac) "أو "أملاح النشادر". ويُذاب مقدار معين من هذا الملح في الماء ثم يُسكب المحلول في الوعاء الزجاجي، وبذلك تبدأ البطارية فورًا في توليد الكهرباء.



الشكل 29

يجب أن نتذكر أن الاسم الصحيح للمزيج الكيميائي الذي يؤثر على العناصر في أي بطارية هو "الإلكتروليت."

البطارية الجافة:

لقد جعلت النظافة، والسهولة في الاستعمال، والكفاءة العالية، والمقاومة الداخلية المنخفضة نسبيًا البطارية الجافة تحظى بانتشار واسع في السنوات الأخيرة. فهي تُستخدم الآن بكثرة بدلًا من بطارية لِكلانشي (Leclanché) وغيرها من البطاريات ذات الدوائر المفتوحة التي تحتوي على إلكتروليت سائل، وذلك في الأعمال الخفيفة مثل :الأجراس، وإشعال الغاز، وأجهزة الإنذار ضد السرقة، والإشعال في القوارب

والسيارات .كما تُستعمل بأعداد كبيرة في مصابيح الجيب الكهربائية، وفي تطبيقات أخرى يستحيل فيها استخدام البطاريات السائلة.

تتكون البطارية الجافة من الزنك والكربون والإلكتروليت . والإلكتروليت هنا يكون على شكل كتلة جيلاتينية أو شبه صلبة حتى لا يسيل أو ينسكب.
يُشكَّل لوح من الزنك على هيئة أنبوب طويل، وتُلحم في أحد طرفيه قطعة دائرية مسطحة من الزنك، فيصبح لدينا كوب معدني مفتوح من الأعلى، وهو يُكوِّن الخلية نفسها، ويعمل في الوقت ذاته كأحد الأقطاب. أما القطب الآخر فهو قطعة من كربون البطارية، تكون طويلة بحيث تبرز من فتحة الكوب نحو نصف بوصة أو أكثر. أثناء ملء الخلية بالإلكتروليت، يُمسك بالكربون مرفوعًا بحيث لا يلامس الزنك في قاع الكوب.
وطبعًا يُجهَّز كلٌّ من الكوب الزنكي والكربون بموصلات مناسبة لتوصيل الأسلاك الناقلة للتيار.

يُحشى الإلكتروليت في الكوب وحول الكربون حتى يمتلئ تقريبًا إلى مسافة نصف بوصة من الفتحة العليا، ثم يُصب فوقه قطران منصهر أو مادة زفتية تعمل على إغلاق الخلية وربط محتوياتها بإحكام. وقبل أن تتصلب مادة الغلق يُعمل فيها ثقب أو اثنان حتى تسمح بخروج الغازات.

تركيب الإلكتروليت يختلف بين الشركات المصنعة، إذ لكل منها وصفته الخاصة، لكن من أحد التركيبات الشائعة :دقيق، ماء، جبس(Plaster of Paris) ، كربون حُبيبي، كلوريد الزنك، كلوريد الأمونيوم، وأكسيد المنغنيز.

تذكر أن بطاريات لِكلانشي والبطاريات الجافة كلها من النوع مفتوح الدائرة، أي أنها تصلح في التطبيقات التي لا يمر فيها التيار إلا لثوانٍ معدودة، مثل: الأجراس، أجهزة النداء، الإنذارات، إشعال الغاز... إلخ. ففي هذه الحالات تحصل البطارية على فترات راحة قصيرة بين كل استخدام. لكن، إذا حاولنا تشغيل مصابيح كهربائية أو محركات بهذه البطاريات، أي في عمل مستمر ودائم، فإنها ستتعرض لظاهرة الاستقطاب، أي تعمل لدقائق معدودة ثم تتوقف، لأن المواد الكيميائية فيها مصممة لإنجاز أعمال خفيفة متقطعة فقط.

تستطيع هذه البطاريات أداء وظيفتها العادية لمدة تصل إلى عام كامل دون حاجة إلى صيانة، لكن إذا استخدمت في غير الغرض المخصص لها فلن تعيش إلا أيامًا معدودة.

أما إذا أردنا تشغيل مصابيح أو محركات كهربائية بصورة متواصلة باستخدام البطارية، فعلينا أن نلجأ إلى:

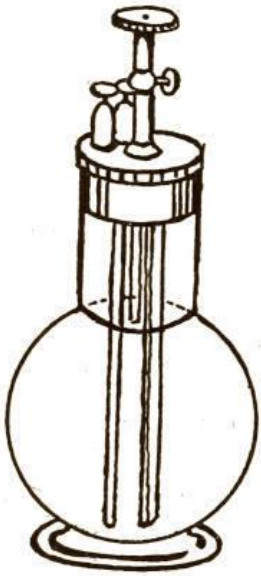
البطاريات ذات الدائرة المغلقة (Closed-Circuit Batteries)

هناك أنواع كثيرة منها، لكن المبادئ واحدة تقريبًا، لذا سنشرح نوعين عامين:

- بطاريات بلا كأس مسامي.
- بطاريات بكأس مسامي.

تتكون البطارية ذات الدائرة المغلقة عادةً من وعاء زجاجي وقطبين (كربون وزنك)، وأحيانًا يُستخدم كأس مسامي لسبب سوف نوضحه.
أما المواد الكيميائية فهي مختلفة عن النوع المفتوح وأقوى بكثير، وغالبًا ما تكون :حمض الكبريتيك وثنائي كرومات البوتاسيوم (أو حمض الكروميك) مذابين في الماء.

وسنبدأ الآن بدراسة النوع الأول :البطارية بلا كأس مسامي، ومثالها الشهير بطارية غرينيه.(Grenet Cell)



شكل 30

تتكوّن هذه البطارية، كما ترى، من وعاء زجاجي وُضِع فيه لوحان من الكربون ولوح واحد من الزنك. (انظر شكل 30). يوضع لوح الزنك بين لوحي الكربون، وهو قابل للحركة صعودًا وهبوطًا بحيث يمكن رفعه خارج المحلول عندما لا نرغب في استخدام البطارية. وعندما يكون الزنك في المحلول يتولّد تيار كهربائي ثابت ومتصّل يمكن سحبه عبر الأسلاك الموصولة بالأطراف الموجودة أعلى البطارية.

لو تُرك الزنك في المحلول عندما لا تكون البطارية قيد الاستخدام، فإن الحمض سيؤثر فيه تقريبًا بنفس القدر كما لو

كان التيار يُستخدم، وبهذا يتآكل الزنك ويُستهلك، كما يُبطل مفعول الحمض، فلا يعود بإمكان البطارية أن تنتج كهرباء عند الحاجة إليها. وفي بطارية جرينيه (Grenet) يمكننا إضاءة مصباح أو تشغيل محرك لعدة ساعات متواصلة، ولكن بعد انتهاء هذه المدة يصبح المحلول أسود اللون ولا يؤدي أي عمل إضافي. عندئذ يجب التخلص من ذلك المحلول واستبداله بآخر جديد، فتعمل البطارية بنفس الكفاءة مرة أخرى، وهكذا دواليك.

أما إذا كنت تريد تشغيل المصباح أو المحرك لبضع دقائق فقط، فيمكنك رفع لوح الزنك من المحلول، ثم إعادته إليه متى احتجت للكهرباء مرة أخرى. والجدير بالذكر أن العنصر الكربوني في البطارية لا يذوب أو يستهلك بواسطة الحمض، بينما الذي يذوب ويتآكل هو الزنك.

شكل 31

الآن سترى فائدة الكوب المسامي. سنأخذ كمثال على هذا النوع بطارية عادية يُستخدم فيها كوب مسامي. (شكل 31.) هنا، كما ترى، يوضع الكربون

داخل الكوب المسامي، بينما يُوضع الزنك خارجه في الوعاء الزجاجي. في الخلية الزجاجية مع الزنك يُستخدم عادة ماء ممزوج بكمية قليلة من الحمض، أما المحلول القوي من حمض الكبريتيك وبيكرومات البوتاسيوم (أو الحمض الكرومي) فيُسكب داخل الكوب المسامي حيث يوجد الكربون.

يتسرب المحلول القوي عبر الكوب المسامي ببطء شديد ليصل إلى الزنك، وعندها ينتج مباشرة تيار كهربائي. ولكن الحمض لا يصل إلى الزنك بسهولة كما يحدث في البطارية التي لا تحتوي على كوب مسامي، ولذلك لا يُستهلك كل من الحمض والزنك بسرعة كبيرة.

عندما تُستخدم الأكواب المسامية، فإن البطاريات تعطي تيارًا مستمرًا لمدة أطول بكثير مقارنة بالبطاريات التي لا تحتوي عليها، بل ويمكنها أحيانًا أن تعمل لساعات عديدة يوميًا على مدى عدة أشهر دون الحاجة لتغيير المحلول.

الاستقطاب :(Polarization) هناك سبب آخر يجعل البطارية ذات الكوب المسامي تعمل فترة أطول، وهو أنه في البطارية التي لا تحتوي على كوب مسامي يكون تأثير الحمض على الزنك سريعًا جدًا لدرجة أن صفائح الكربون تُغطى بالغاز، فلا يتمكن الحمض من التفاعل عليها بشكل صحيح. وعندها تتوقف البطارية عن العمل ويُقال إنها "مستقطبة". أما عند

استخدام كوب مسامي فإن تأثير الحمض على الزنك يكون بطيئًا بما يكفي لإطلاق كمية صغيرة فقط من الغاز، وبذلك تتاح للحمض فرصة للعمل على صفائح الكربون وتوليد تيار كهربائي ثابت.

العمل الذي تقوم به البطاريات

يختلف ضغط (الجهد) وكمية الكهرباء التي تعطيها البطاريات ذات الدائرة المفتوحة عن البطاريات ذات الدائرة المغلقة بشكل كبير.

- الضغط (أو القوة الدافعة الكهربائية) في خلية واحدة من البطارية العادية ذات الدائرة المفتوحة هو حوالي فولت واحد فقط، والتيار عادة أقل بكثير من أمبير واحد، باستثناء الخلية الجافة التي قد تعطي أكثر.
- في البطاريات ذات الدائرة المغلقة التي شرحناها، تكون القوة الدافعة الكهربائية لكل خلية حوالي فولتَين، بينما يتراوح التيار من 1 إلى ربما 50 أمبير، وذلك حسب حجم صفائح الزنك والكربون.

ولا يهم لو صنعت خلية واحدة بحجم برميل، أو وضعت عدة صفائح من الكربون والزنك؛ فلن يتجاوز الجهد الكهربائي

القيم المذكورة لكل نوع من البطاريات، ولكن سعة الأمبير ستكون أكبر من الخلية الصغيرة بسبب زيادة حجم الصفائح.

المقاومة الداخلية :هناك عامل آخر يؤثر على كمية الأمبيرات التي يمكن الحصول عليها من البطارية ذات الدائرة المغلقة، وهو ما إذا كانت هناك مقاومة داخلية كبيرة أو صغيرة في البطارية نفسها.

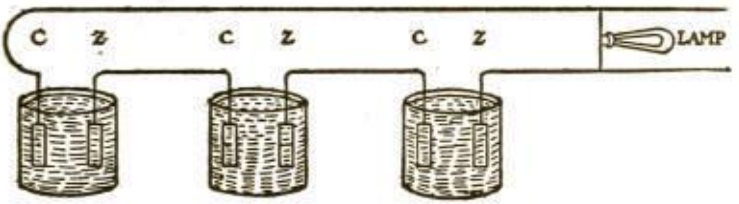
- هذا يعتمد على المحلول المستخدم وترتيب الصفائح.
- إذا كانت المقاومة الداخلية عالية، فإن الكهرباء يجب أن تبذل جهدًا لتتغلب على هذه المقاومة قبل أن تخرج من البطارية للقيام بالعمل المفيد عبر الأسلاك، وبالتالي تكون السعة بالأمبير محدودة.
- أما إذا كانت المقاومة الداخلية صغيرة، فإن التيار يجد صعوبة قليلة جدًا للخروج عبر الأسلاك، ويمكننا عندها الحصول على كمية أكبر، أو عدد أكبر من الأمبيرات.

إذن ترى أنه رغم أن البطارية ذات الدائرة المغلقة أقوى، وتستطيع أن تفعل كل ما تفعله البطارية ذات الدائرة المفتوحة بل وأكثر في وقت قصير، إلا أن الأخيرة – رغم ضعفها – تؤدي عملًا يقارب نفس الكمية باستخدام نفس مقدار الزنك والكربون، ولكنها تستغرق وقتًا أطول بكثير.

البطاريات للإنارة الكهربائية

كما شرحنا لك، تُستخدم البطاريات ذات الدائرة المغلقة لإنتاج مصابيح كهربائية متوهجة بأعداد صغيرة، وكذلك لتشغيل المحركات.

ولتشغيل المصابيح المتوهجة، يتم استخدام عدد من البطاريات موصلة معًا. ويعتمد عددها على الضغط (الجهد) الذي تحتاجه المصابيح لتعطي شدة الإضاءة المطلوبة. وسنشرح الآن كيفية توصيل البطاريات معًا لهذا الغرض.



شكل 32

افترض أنك أردت أن تُضيء مصباحًا متوهجًا بقوة ثلاثة شموع مثلًا، وكان يحتاج إلى ستة فولت. سنأخذ ثلاث بطاريات من النوع ذي الدائرة المغلقة، بحيث يعطي كل منها فولتَين، ثم نصل بسلكٍ بين الزنك في الأولى والكربون في الثانية، وبين الزنك في الثانية والكربون في الثالثة، كما هو

موضح في الشكل (شكل 32).
بعد ذلك نثبت سلكًا في الكربون من الأولى، وآخر في الزنك من الثالثة، وبذلك يكون لدينا ستة فولت بين هذين السلكين، وهو ما يكفي لإضاءة مصباح واحد بقوة ستة فولت بشكل جيد.

هذا النوع من التوصيل يُسمّى التوصيل على التوالي (للحصول على شدة أو جهد أعلى).
لكن لاحظ: إذا كان كل خلية تعطي عشرة أمبير بمفردها، فإن الثلاث خلايا معًا بعد توصيلها على التوالي ستعطي أيضًا عشرة أمبير فقط، لا أكثر.

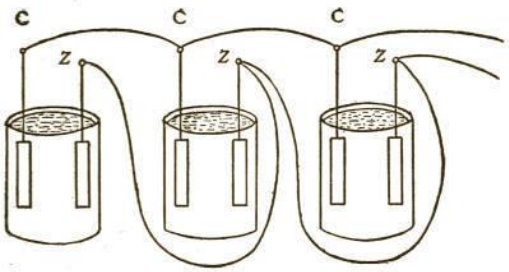
فإذا كان مصباحنا يحتاج فقط إلى أمبير واحد، فقد تظن منطقيًا أنه يمكن تشغيل عشرة مصابيح مشابهة على نفس السلكين وسيضيئون بنفس الجودة، لكن هذا غير صحيح. فقد تستطيع تشغيل مصباحين، ولكن عند محاولة تشغيل العشرة دفعة واحدة، سينخفض الجهد وتصبح الإضاءة أضعف بكثير. لذلك، إذا أردنا تشغيل عشرة مصابيح كاملة، نضيف مجموعة أخرى من البطاريات لزيادة الجهد، مما يجعل المصابيح العشرة تعمل بسطوع كامل.

هذه القواعد تنطبق على توصيل أي عدد من البطاريات لتغذية أي عدد من المصابيح: أي أن نعتبر أن كل خلية تعطي

نحو 2فولت مع إضافة سماح لانخفاض الجهد (Drop in pressure).

التوصيل على التوازي

هناك طريقة أخرى لتوصيل البطاريات، والغرض منها هو الحصول على عدد أكبر من الأمبيرات (التيار) .وهذه الطريقة تُسمّى التوصيل على التوازي أو من أجل الكمية (Quantity).



شكل 33

لنأخذ مرة أخرى كمثال الخلايا الثلاث التي تعطي كل منها 2 فولت و10 أمبير. هذه المرة نقوم بتوصيل الكربون من الخلية الأولى إلى الكربون من الثانية، ومن الكربون في الثانية إلى الكربون في الثالثة؛ ثم نصل الزنك من الأولى بالزنك من الثانية، والزنك من الثانية بالزنك من الثالثة، كما هو موضح في الرسم (شكل 33).

بعد ذلك نثبت سلكًا بالزنك وآخر بالكربون في الخلية الثالثة،

وهكذا يمكننا الحصول من هذين السلكين فقط على 2 فولت، لكن 30 أمبير.

هناك أيضًا طرق عديدة أخرى لتوصيل عدة مجموعات من هذه الخلايا معًا، لكن ليس من الغرض في هذا الكتاب التوسع فيها، لأن هدفنا فقط إعطاء شرح مبسط للمبادئ الأولى في هذا الموضوع. لذلك سنكتفي بمثال آخر لطريقة توصيل واحدة يسهل فهمها. وهذه الطريقة تُسمى:

التوصيل على التوالي المتوازي(MULTIPLE SERIES)
الرسم الذي عرضناه أخيرًا يوضح ثلاث بطاريات متصلة على التوازي. لنسمِّ هذه المجموعة "المجموعة رقم 1." الآن، افترض أننا أخذنا ثلاث بطاريات أخرى مماثلة تمامًا، ووصلناها بنفس الطريقة. لنسمي هذه "المجموعة رقم 2." الآن نأخذ السلك الخارج من كربون المجموعة رقم 2 ونوصله بالسلك الخارج من زنك المجموعة رقم 1. ثم نأخذ سلكًا من زنك المجموعة رقم 2، وسلكًا من كربون المجموعة رقم 1، ونوصلهما بالمصابيح أو المحركات. بهذه الطريقة، وبما أن المجموعتين متصلتان على التوالي المتوازي، فإننا نحصل على 4 فولت و30 أمبير.

هذا ما يُسمى بالتوصيل على التوالي المتوازي، ويمكن مده بلا حدود مع أي عدد من البطاريات.

ويجب أن نضيف أن أحد عنصري البطارية يُسمى "موجبًا" والآخر يُسمى "سالبًا."

بطارية إديسون الأولية (THE EDISON PRIMARY BATTERY)

نظرًا لأن هذا النوع من البطاريات يمكن أن يعمل بكفاءة سواء في الدائرة المفتوحة أو المغلقة، فقد رأينا أن من الأفضل أن نصفه بشكل منفصل هنا حتى لا تختلط أفكارك أثناء قراءة موضوع البطاريات عمومًا.

النوع من الخلايا الذي سنصفه الآن اخترعه مخترع يُدعى "لالاند" وكان يُعرف باسمه، لكن إديسون قام بتحسينه كثيرًا وجعله أكثر كفاءة، وهو الآن يُصنع ويُباع تحت اسم بطارية إديسون الأولية.

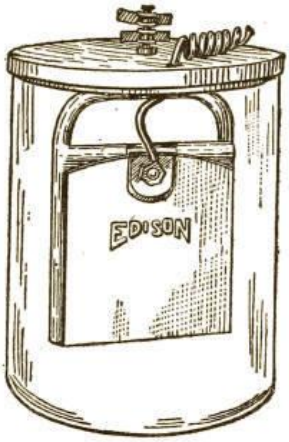
قبل أن نصف الخلية نفسها، دعنا نفكر أولًا في التفاعل الذي يحدث داخل هذا النوع من البطاريات:

إذا وُضِعت معادن معينة في محلول مناسب، وتم توصيلها معًا من الخارج بواسطة أسلاك، يحدث تفاعل كيميائي قوي على أسطح المعادن، وينتج عن ذلك طاقة كهربائية. يجب أن تكون الصفائح المعدنية مختلفة، ويجب أن يكون المحلول من

النوع الذي لا يذيب أيًا منهما إلا عندما يُسمح للتيار الكهربائي بالمرور.

أحد هذه المعادن عادةً ما يكون الزنك، الذي يتآكل تدريجيًا أو يذوب في المحلول بينما تُسلّم البطارية الطاقة الكهربائية. إن التفاعل الكيميائي بين الزنك والمحلول هو الذي يولد هذه الطاقة، حيث تخرج الطاقة من الزنك في صورة تيار كهربائي، وتمر عبر المحلول إلى المعدن الآخر، ثم تخرج من الخلية عبر السلك، وتعود عبر سلك آخر إلى الزنك، حيث تبدأ دورتها من جديد.

على سطح المعدن الآخر، والذي قد يكون وغالبًا ما يكون النحاس، تتشكل فقاعات صغيرة من غاز يُسمى الهيدروجين. هذا الغاز يرتفع إلى سطح السائل ثم يتبدد تدريجيًا في الهواء. لكن وجوده يعيق مرور التيار؛ ولهذا غالبًا ما يكون النحاس مرتبطًا بمصدر من غاز الأكسجين. والأكسجين والهيدروجين دائمًا في شدة الرغبة للاختلاط ببعضهما، لذلك فعندما تظهر فقاعات الهيدروجين يتم التقاطها بسرعة بواسطة الأكسجين القريب. اتحاد هذين الغازين يُشكل الماء، الذي ينضم إلى المحلول. كل هذا يحدث بسرعة كبيرة لدرجة أن الهيدروجين لا يمكن ملاحظته ما دام هناك أكسجين متبقٍ في صفيحة أكسيد النحاس.



شكل 34

في بطارية إديسون الأولية (شكل 34) تكون الصفائح من الزنك، ويُعرف بالقطب السالب، ومن أكسيد النحاس (نحاس + أكسجين) وهو القطب الموجب. وتُعلّق هذه الصفائح في محلول من الصودا الكاوية والماء، حيث تُوضع الصفائح والمحلول داخل أوعية من الزجاج أو الخزف. وتُزوَّد الصفائح بأسلاك مناسبة لتوصيل الخلايا بعضها ببعض، وكذلك بالأحمال مثل المصابيح أو المحركات أو غيرها من الأجهزة التي ستعمل بها. وعادةً ما تحتوي كل خلية على صفيحتين من الزنك وصفيحة واحدة من أكسيد النحاس، أو مضاعفات لذلك. وتعتمد كمية التيار التي يمكن سحبها من

الخلية على حجم وعدد الصفائح، إضافةً إلى تصميمها وطريقة ترتيبها.

إن الجهد الكهربائي لهذه الخلايا منخفض نسبيًا، حيث يبلغ حوالي 0.65فولت لكل خلية؛ لكن هذه القيمة يُعوَّض عنها بأن المقاومة الداخلية للبطارية منخفضة جدًا، بحيث لا يتأثر الجهد حتى عند معدلات التفريغ العالية المستمرة، كما أن الجهد يظل ثابتًا تقريبًا طوال عمر الخلية.

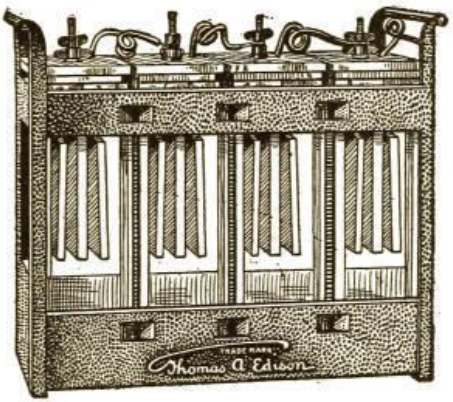
إضافةً إلى ذلك، فعندما لا تكون البطارية في حالة استخدام لا يحدث تقريبًا أي تفاعل محلي داخلها، وبذلك يمكن أن تبقى على دائرة مفتوحة (أي لا تؤدي عملًا) لسنوات دون فقدان للطاقة، وعند استخدامها بعد ذلك تعمل بكفاءة عملية كما لو كانت جديدة. وفي بعض التطبيقات يمكن أن تبقى هذه البطارية في الخدمة من أربع إلى ست سنوات دون الحاجة إلى أي عناية.

ومن المزايا الخاصة لهذه البطارية أن الصفائح والمحلول الكهروكيميائي (الإلكتروليت) متوازنون في الكميات بحيث تنفد جميعها في وقت واحد، وعندها يمكن ببساطة وضع صفائح جديدة ومحلول جديد في الوعاء لتعود البطارية إلى حالتها الأصلية.

تُستخدم هذه البطاريات بكثرة في أعمال إشارات السكك الحديدية، وكذلك في أغراض أخرى مثل: أنظمة إنذار الحريق والسرقة، بعض وظائف الهاتف، تشغيل الساعات الكهربائية ذاتية التشغيل أو المبرمجة، تشغيل المحركات الكهربائية الصغيرة، المصابيح الكهربائية منخفضة الشدة الضوئية، إشعال محركات الغاز، الطلاء الكهربائي، أنظمة التلغراف، التحليل الكيميائي، وأعمال تجريبية أخرى تحتاج إلى بطاريات يمكنها العمل لفترات طويلة دون متابعة أو استبدال.

وتسري على هذه الخلايا من نوع إديسون الأولية نفس القواعد التي ذُكرت سابقًا بخصوص توصيل البطاريات على التوالي(Series) ، أو على التوازي(Multiple) ، أو على التوالي-التوازي .(Multiple Series) ويوضح شكل 35 بطارية مكوّنة من أربع خلايا من هذا النوع موصولة على التوالي.

البطاريات الثانوية أو بطاريات التخزين
إن البطاريات ذات الدائرة المفتوحة أو المغلقة التي شرحناها حتى الآن تُستخدم لإنتاج الكهرباء نتيجة تفاعل المواد الكيميائية مع العناصر الموجودة فيها، ولذلك تُسمى البطاريات الأولية.



الشكل 35

إن البطاريات التي سنحدثك عنها الآن تُسمّى البطاريات الثانوية أو بطاريات التخزين، وهي لا تُنتج تيارًا أساسيًا (أوليًا) من تلقاء نفسها، بل تعمل ببساطة كمستودعات، إن صح التعبير، لتخزين طاقة التيار الكهربائي الذي يُغذّى إليها من دينامو أو من بطارية أولية. وعندما يحين الوقت المناسب وتتوفر الظروف الملائمة، تُعيد هذه البطاريات الثانوية جزءًا كبيرًا من طاقة التيار الكهربائي المخزّنة فيها.

لقد أُطلق على هذا النوع من البطاريات ثلاثة أسماء : "البطارية الثانوية"، "المجمّع(Accumulator) "، و "بطارية التخزين ."وبما أن الاسم الأخير يُستخدم على نطاق واسع في هذا البلد، فسوف نستعمله في الشرح التالي.

نوعان رئيسيان

هناك نوعان متميزان من بطاريات التخزين:

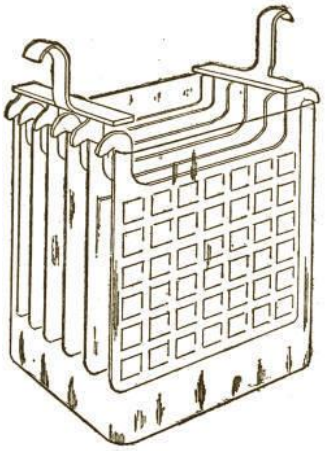
1. ما يُسمّى البطارية الرصاصية أو البطارية الحامضية.
2. ما يُسمّى البطارية القلوية أو البطارية النيكل-حديد.

كلاهما يعمل كمستودع لتخزين طاقة التيار الكهربائي الذي يُدخل إليه، وكلاهما يُعيد هذه الطاقة في ظل ظروف مناسبة. وبما أن البطارية الرصاصية هي الأقدم من حيث الاكتشاف والاختراع، فسوف نصفها أولاً.

البطارية الرصاصية للتخزين

تتكون البطارية الرصاصية عادة من وعاء زجاجي أو وعاء مصنوع من المطاط الصلب يحتوي على صفائح من الرصاص، بالإضافة إلى محلول مكوَّن من الماء وحمض الكبريتيك. وتُسمّى الوحدة الواحدة عادة "خلية) ."الشكل 36.(

يوجد دائمًا على الأقل صفيحتان من الرصاص في خلية بطارية التخزين من هذا النوع، مع إمكانية زيادة عدد الصفائح بحسب الحاجة. ومن أجل تسهيل الشرح لك، سنفترض وجود خلية تحتوي على صفيحتين فقط.



شكل 36

لدينا هنا وعاء من الزجاج أو المطاط الصلب يحتوي على لوحين من الرصاص ومحلول يتكون من الماء وحمض الكبريتيك. هذه الألواح تُسمّى "العناصر"، وأحدها يُسمّى العنصر الموجب والآخر العنصر السالب. أما المحلول فيُسمّى "الإلكتروليت."

العنصر الموجب عبارة عن صفيحة من الرصاص مغطاة بعجينة مصنوعة من أكسيد الرصاص الأحمر. والعنصر السالب عبارة عن صفيحة مماثلة من الرصاص مغطاة بعجينة من أكسيد الرصاص الأصفر.

بعد إعداد هذه الألواح على هذا النحو، توضع في المحلول الحمضي داخل الوعاء، ويُوصل سلك بكل صفيحة مرتبط

بسلكي دينامو أو أي مصدر آخر للتيار الكهربائي، تمامًا كما يُوصل المصباح.

يمر التيار الكهربائي بعد ذلك داخل خلية البطارية المخزِّنة، حيث يدخل من اللوح الموجب ويخرج من اللوح السالب. هذه الألواح والعجينة المغطاة بها تُشكّل مقاومة أمام مرور التيار، لذلك يجب على الكهرباء أن تقوم بعملٍ ما كي تعبر من أحدها إلى الآخر. العمل الذي يتم هنا هو تغيير الطبيعة الكيميائية للعجينة.

فبعد أن يُمرَّر التيار الأساسي من لوح إلى آخر لمدة معينة، وبعد عدة "تفريغات"، يمكن فصل البطارية المخزنة، حيث تكون الآن "مشكّلة". عندها نجد أن العجينة على ألواح الرصاص قد تغيّرت طبيعتها الكيميائية، فتحولت العجينة على اللوح الموجب إلى ثاني أكسيد الرصاص، بينما تحولت على اللوح السالب إلى رصاص إسفنجي. وعند الوصول إلى هذه الحالة، تُسمّى العجينة على الألواح "المادة الفعّالة."

هذه العملية من "التشكيل" ضرورية تمامًا قبل أن تصبح بطارية الرصاص المخزِّنة جاهزة للعمل الفعلي. فعندما تُشكّل الألواح بالكامل، يمكن إعادة توصيل البطارية المخزنة بمصدر للتيار الكهربائي يدخل مرة أخرى من اللوح الموجب ويخرج من اللوح السالب. هذا التيار يؤثر على المادة الفعالة بحيث تتفاعل مع المحلول الحمضي وتشكل مركبات كيميائية

أخرى يمكن أن نسميها "كبريتات". وعندما يمر تيار الشحن خلال البطارية فترة كافية لإحداث هذه التغييرات في المادة الفعالة، يُقال إن البطارية "مشحونة"، وجاهزة للعمل.

إذا تم توصيل السلكين المربوطين بالألواح بمصابيح كهربائية أو محرك أو أي جهاز آخر، فإن المادة الفعالة ستطلق طاقة في محاولة لاستعادة طبيعتها السابقة. هذه الطاقة تأخذ شكل تيار كهربائي يخرج من البطارية ويمر عبر الموصلات ويشغل المصابيح أو المحركات أو الأجهزة الأخرى أثناء مروره.

وبذلك تُقال إن البطارية "مفرَّغة"، وفي نهاية التفريغ يمكن شحنها وتفريغها مرة أخرى بالطريقة نفسها لفترة طويلة، حتى تُستهلك المادة الفعالة أو تسقط من الألواح.

أما من حيث تفاصيل البناء الفعلي، فبطاريات الرصاص المخزنة تُصنع بطرق مختلفة كثيرة، لكن المواد المستعملة فيها تكون عمومًا من نفس النوع الذي ذكرناه أعلاه.

البطارية القلوية المخزِّنة

سنصف الآن نوعًا مختلفًا تمامًا من البطاريات المخزِّنة، لا يحتوي على رصاص ولا على حمض. وهو واحد من اختراعات توماس إديسون.

في البطارية القلوية المخزّنة يلعب غاز الأكسجين دورًا مهمًا جدًا، وسنحاول أن نوضح ما هو هذا الدور.

أنت تعلم جيدًا أنه إذا تركت سكينك في الهواء فإنه يصدأ. والسبب هو أن الحديد أو الفولاذ يميل بسرعة إلى الاتحاد مع أكسجين الهواء، وهذا الاتحاد يُسمّى الصدأ، أو "أكسيد الحديد."

إذن فإن أكسيد الحديد، أو الصدأ، هو نتيجة تفاعل كيميائي بين الحديد والأكسجين.

وكما أن كل التفاعلات الكيميائية تحتاج إلى استهلاك طاقة، فقد نتج عن ذلك حرارة أو كهرباء أثناء العملية. ويمكن سحب الأكسجين من أكسيد الحديد بطريقة كيميائية، لكن هذا بدوره يحتاج إلى طاقة تُصرف من جديد.

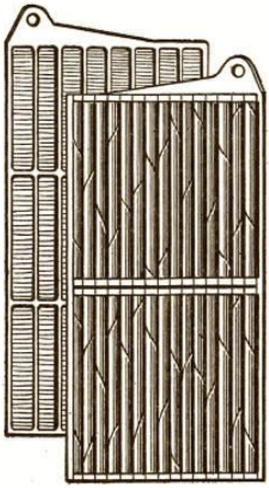
يمكن تصنيع أكسيد الحديد كيميائيًا بطرق عديدة مختلفة، وغالبًا ما يُنتج في صورة مسحوق ناعم. لذلك لسنا بحاجة إلى الاعتماد على صدأ الحديد للحصول على هذه المادة.

قبل أن نتابع يجب أن نأخذ في الاعتبار أكسيدًا آخر، وهو أكسيد النيكل .فمن خصائص النيكل أنه عندما يتحد مع الأكسجين بدرجة معينة ليشكل مركبًا يُسمّى أكسيد النيكل، فإنه يبقى قادرًا على استقبال المزيد من الأكسجين.

الآن، إذا أجبرنا أكسيد الحديد في ظروف مناسبة على أن يتخلى عن أكسجينه لمركب كيميائي آخر مثل أكسيد النيكل، فلا بد من استهلاك طاقة. لكن، على الجانب الآخر، إذا أعاد أكسيد النيكل الأكسجين إلى الحديد – وهو ما سيفعله إذا أُتيحت له الفرصة – فإن الطاقة تنطلق مرة أخرى أثناء استقباله للأكسجين. وبعبارة أخرى، الطاقة التي صُرفت سابقًا (أو جزء منها) تُسترد من جديد.

هذا الفعل ورد الفعل هما بالضبط ما يحدث في بطارية إديسون القلوية المخزِّنة. وللتبسيط، سنعتبر خلية تحتوي فقط على لوحين: أحدهما موجب والآخر سالب.

اللوح السالب يتكون من عدد من الجيوب الصغيرة المسطحة المثقبة، تحتوي على مسحوق ناعم من أكسيد الحديد. أما اللوح الموجب فيتكون من أنابيب صغيرة مثقبة تحتوي على أكسيد النيكل ممزوجًا برقائق رقيقة جدًا من النيكل المعدني. (الشكل 37 يوضح هذه الألواح، حيث يظهر اللوح الموجب في الأمام).



شكل 37

هاتان الصفيحتان، الموجبة والسالبة، الموصولة بأسلاك أو نواقل، توضعان داخل وعاء من الفولاذ المطلي بالنيكل يحتوي على الإلكتروليت، وهو محلول من البوتاس. ستلاحظ أن هذا يختلف عن بطارية الرصاص المخزّنة، حيث يكون الإلكتروليت فيها عبارة عن حمض الكبريتيك والماء. ولو أننا وضعنا هذا المحلول الحمضي في وعاء معدني (إلا إذا كان مصنوعًا من الرصاص) فلن يصمد طويلًا، إذ سيأكله الحمض بسرعة ويثقب جدرانه.

والآن لنرَ ما يحدث داخل البطارية القلوية المخزّنة التي ابتكرها إديسون. إذا جُعل تيار كهربائي صادر من دينامو أو مصدر آخر للكهرباء يمر من القطب الموجب إلى القطب

السالب، فإن الأوكسجين الموجود في أكسيد الحديد ينتقل ويستقر مع أكسيد النيكل. وخلال هذه العملية نقول إن البطارية "تُشحن"، وعندما يُزال كل الأوكسجين من أكسيد الحديد ويُمتص بالكامل في أكسيد النيكل، عندها نقول إن البطارية "امتلأت بالشحن"، ويتوقف مرور التيار إليها.

لقد حدث الآن تغيير. فالمسحوق الموجود في الصفيحة السالبة لم يعد أكسيد الحديد، بل تحوّل إلى حديد معدني بعد أن أُزيل عنه الأوكسجين. أما المسحوق الموجود في الصفيحة الموجبة فقد ارتفع إلى صورة أكسيد نيكل أعلى (أو فوقي)، لأنه استقبل الأوكسجين الذي كان في الحديد. لكن أكسيد النيكل هذا مستعد تمامًا لأن يتخلى عن فائض الأوكسجين، كما أن الحديد قابل لأن يستعيده بسهولة متى سُمح بذلك. فإذا توفرت الظروف المناسبة، فإن هذا الانتقال للأوكسجين سيحدث بالفعل، غير أن الحديد لا يستطيع أن يستعيد الأوكسجين إلا إذا سلّم طاقة في المقابل.

شكل 38

تتحقق الشروط المناسبة من خلال توفير دائرة موصلة بين العنصرين، يوضع فيها مصابيح أو محركات أو أجهزة كهربائية أخرى. وبمجرد

توفير هذه الدائرة، تتاح الفرصة للحديد ليستقبل الأكسجين. وعندما يقوم بذلك، فإنه يطلق طاقة كهربائية.

هذه الطاقة تكون في صورة تيار كهربائي يُنتَج بواسطة البطارية فيما يُسمى "التفريغ"، ويمكن استخدام هذا التيار في إنارة المصابيح أو تشغيل المحركات أو غيرها من الأجهزة الكهربائية.

تُقال البطارية إنها في حالة تفريغ طالما أن الحديد يستقبل الأكسجين من أكسيد النيكل. وبمجرد أن يعود الحديد إلى حالته كأكسيد الحديد، يتوقف إنتاج الطاقة وتُقال البطارية إنها "فارغة" أو "مفرَّغة"، وتحتاج إلى إعادة شحن للحصول على عمل إضافي منها. ويمكن شحن وتفريغ مثل هذه البطارية عددًا غير محدود من المرات.

هذا النوع من البطاريات متين جدًا، وتراكيبه ليست ذاتية التدمير. كما أنه بسيط للغاية، إذ يقوم أساسًا على حركة الأكسجين ذهابًا وإيابًا؛ بالإضافة إلى أنه يُنتج تيارًا أكبر بكثير مقارنة بوزنه من بطارية التخزين الرصاصية. (الشكل 38 يوضح ألواح خلية إديسون القياسية بعد إخراجها من الوعاء).

توصيل بطاريات التخزين

أثناء التفريغ، تعطي خلية واحدة من بطارية التخزين الرصاصية جهدًا متوسطه نحو 2 فولت، بينما تعطي خلية من

بطارية التخزين القلوية حوالي 1.2 فولت، بغض النظر عن حجمها أو عدد ألواحها. وعندما يكون هناك أكثر من لوحين في خلية واحدة، تُوصَل جميع الألواح الموجبة معًا بواسطة شرائط أو أشرطة معدنية، وتُوصَل جميع الألواح السالبة بالطريقة نفسها.

ورغم أننا لا يمكن أن نحصل من خلية واحدة من أي نوع على قوة دافعة كهربائية أكثر مما ذُكر أعلاه، إلا أننا نستطيع الحصول على سعة أمبيرية أكبر باستخدام ألواح كبيرة بدلًا من الصغيرة، أو باستخدام عدد أكبر من الألواح الصغيرة الحجم.

وتُنتَج التأثيرات نفسها من خلال توصيل الخلايا على التوالي، أو على التوازي، أو توالي-توازي، كما أوضحنا لكم بخصوص البطاريات الأولية؛ ويمكن شحن بطاريات التخزين كما يمكن تفريغها عند توصيلها بأي من هذه الطرق.

تيار الشحن

يجب أن يكون التيار المستخدم في الشحن دائمًا أعلى في الجهد من بطاريات التخزين التي يجري شحنها. فإذا لم يكن كذلك، فإن بطاريات التخزين ستكون أقوى من تيار الشحن، وستتغلب عليه وتفرغ نفسها بدلًا من أن تُشحَن.

ملاحظات:

[1]الأسلاك في مصابيح "مازدا" الحديثة، كما تُصنَع في مصنع مصابيح إديسون، هي شرائط من معدن التنجستن.

[2]البطاريات التي سنصفها الآن مخصّصة للعمل في الدوائر المغلقة فقط، ولا تُستخدم أبدًا في الدوائر المفتوحة. ولكن هناك نوعًا من البطاريات متاح للاستخدام في كلٍّ من الدوائر المفتوحة أو المغلقة. وهذا هو البطارية الأولية لإديسون، وسيتم وصفها لاحقًا.

[3]في الواقع، هناك دائمًا صفيحة سالبة أكثر من عدد الصفائح الموجبة في الخلية العادية للبطارية المخزِّنة. ونتيجة لذلك، فإن الخلية القياسية تحتوي دائمًا على عدد فردي من الصفائح.

المراجع المستخدمة

1. Hughes, E. Electrical and Electronic Technology. 10th ed., Pearson Education, 2008.
2. Gibilisco, S. Teach Yourself Electricity and Electronics. 6th ed., McGraw-Hill Education, 2015.
3. Boylestad, R. L. Introductory Circuit Analysis. 13th ed., Pearson, 2015.
4. Floyd, T. L. Principles of Electric Circuits. 10th ed., Pearson, 2017.
5. Delmar, C. Standard Textbook of Electricity. 6th ed., Cengage Learning, 2011.
6. Van Valkenburgh, N. Basic Electricity. Hayden Book Company, 1982.

7. Horowitz, P., and Hill, W. The Art of Electronics. 3rd ed., Cambridge University Press, 2015.
8. Edminister, J. A., and Nahvi, M. Electric Circuits. Schaum's Outline Series, McGraw-Hill, 2013.
9. Dorf, R. C., and Svoboda, J. A. Introduction to Electric Circuits. 9th ed., Wiley, 2013.
10. Hawkins, N. Hawkins Electrical Guide. Theo Audel & Co., 1917.

نبذة عن المؤلف

أ.م.د يحيى حمدي محمد إبراهيم البشار

- أستاذ مساعد دكتور في علوم المواد (فيزياء)
- دكتوراة الفلسفة في العلوم (تخصص فيزياء) – كلية العلوم- جامعة الأزهر بالقاهرة - مصر
- ماجيستير هندسة الجوامد و التصنيع- كلية الهندسة - جامعة انها – كوريا الجنوبية
- دبلوم تربوي – تعليم الكتروني- كلية الدراسات التربوية – الجامعة المصرية الأهلية للتعليم الالكتروني - مصر
- دبلوم تربوي- تربوي عام- كلية الدراسات التربوية – الجامعة المصرية الأهلية للتعليم الالكتروني - مصر
- دبلوم فيزياء إشعاعية- كلية العلوم – جامعة عين شمس - مصر
- دبلوم تفاعل الليزر مع المادة – معهد الليزر – جامعة القاهرة - مصر

- بكالوريوس فيزياء- كلية العلوم – جامعة الأزهر بالقاهرة- مصر

مناصب علمية:

- عضو اللجنة الوطنية للفيزياء بأكاديمية البحث العلمي بجمهورية مصر العربية
- خبير و تكنولوجيا الليزر من نقابة المهن العلمية بالقاهرة بجمهورية مصر العربية
- استشاري الليزر و التكنولوجيا النووية من نقابة المهن العلمية بالقاهرة بجمهورية مصر العربية
- عضوسابق بمجلس شعبة الطبيعة والفلك لمجلس نقابة المهن العلمية بالقاهرة بجمهورية مصر العربية

إصدارات للمؤلف:

له العديد من الأوراق البحثية العلمية والمدرجة في الموقعين الآتيين:

https://scholar.google.com/citations?user=ygx78e8AAAAJ&hl=en

https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56177724400

1- "مقدمة في كيفية كتابة ورقة بحثية", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع,10552/2025 ,ISBN: 978-977-95-2754-3 [Arabic language]
2- "أكتب سيرتك الذاتية بطريقة مبسطة وعملية", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 2026/7972 , ISBN: 978-977-95-6456-2, [Arabic language]

3- "مبادئ الفيزياء الاجتماعية", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 2024/13156, ISBN: 978-977-94-9583-5 [Arabic language]
4- "فيزياء و كيمياء ريادة الأعمال", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 2025/16784 , ISBN: 978-977-95-3378-0, [Arabic language]
5- " لون مع طفلك كتاب تلوين الأشكال الهندسية طرق تعليم الأطفال بالألوان", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 2026/7970 , ISBN: 978-977-95-6454-8, [Arabic language]
6- " لون مع طفلك كتاب تلوين الارقام باللغة العربية طرق تعليم الأطفال بالألوان", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, *Yahia Elbashar,* دار الربيع دار الربيع للنشر والتوزيع, 2026/7971 , ISBN: 978-977-95-6455-5, [Arabic language]
7- " مدخل لمبادئ وطرق التدريس الجامعي طرق تدريس العلوم عامة والفيزياء خاصة طريقة فاينمان وتقنية

الطماطم", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 10553/2025,ISBN: 978-977-95-2755-0 [Arabic language]

8- "التعليم البنكي و التعليم الحواري", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 2024/13155, ISBN: 978-977-94-9582-8 [Arabic language]

9- "مدخل لإدارة المعرفة", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع,16783/2025 ,ISBN: 978-977-95-3377-3 [Arabic language]

10- " استقلالية المتعلم من منظور البيداجوجي و الأندراجوجي و الهيوتاجوجي", prepared by Omnia Mohamed , Fatma Elbashar, Mohamed Abdelwahab, *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع,16782/2025 ,ISBN: 978-977-95-3376-6 [Arabic language]

11- " عالم السيارات للأطفال ، شعارات و سيارات من جميع أنحاء العالم", prepared by Omnia Mohamed , *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر

والتوزيع, 2023/26753, ISBN: 978-977-7782-4 [Arabic language]
12- "أعلام و عملات الدول العربية للأطفال", prepared by Omnia Mohamed , *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/26752, ISBN: 978-977-7781-7 [Arabic language]
13- "وظائف الفيزيائيين في مصر و العالم", الطبعة الثانية, prepared by *Yahia Elbashar,* دار الربيع دار الربيع للنشر والتوزيع, 2026/7969 , ISBN: 978-977-95-6453-1, [Arabic language]
14- "Undergraduate First Year Physics Laboratory Manual", Deiaa Moubarak and *Yahia Elbashar*, , دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/19466, ISBN: 978-977-94-7123-5 [English language]
15- " مبادئ ومعايير ضمان الجودة والاعتماد لمؤسسات التعليم العالي في جمهورية مصر العربية", prepared by Omnia Mohamed , Mohamed Abdelwahab, and *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/13175, ISBN: 978-977-94-6252-3 [Arabic language]
16- "A tutorial Guide for operating Hydroponic system using Solar Energy",

prepared by Mohamed Mostafa Bisheer and *Yahia Elbashar*, دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/7775, ISBN: 978-977-94-5201-2,[English language]

17- " A Guide to Construct a Solar cell system for Hydroponic application", prepared by Ahmed Gomaa and *Yahia Elbashar*, دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/7774, ISBN: 978-977-94-5200-5, [English language]

18- "العقرب بين حضارتي العراق القديم ومصر القديمة" ، ", prepared by Omnia Mohamed and *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 2023/7772, ISBN: 978-977-94- 5198-5, [Arabic language]

19- "وظائف الفيزيائيين في مصر و العالم" , دار الربيع للنشر والتوزيع, prepared by *Yahia Hamdy* ، دارالربيع للنشر والتوزيع , 2023/3443 , ISBN: 978-977-94-4679-0 [Arabic language]

20- "المصنوعات الزجاجية في مصر القديمة حتى نهاية العصر اليوناني الروماني", prepared by Omnia Mohamed and *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 2022/23393,

ISBN:978/977-94-3934-1 ,[Arabic language]

21- " الزجاج ودوره الحضاري عبر العصور المصرية القديمة", prepared by Omnia Mohamed and *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 2022/23392, ISBN:978/977-94-3933-4 ,[Arabic language]

22- Lecture Notes in Peening Techniques and its Applications, prepared by *Yahia Hamdy Elbashar*, دار الربيع للنشر والتوزيع, 2022/15970, ISBN:978-977-94-2721-8 [English language]

23- Lecture Notes in Glass and Glass Doped Rare Earth, prepared by Omnia Mohamed and *Yahia Elbashar,* دار الربيع للنشر والتوزيع, 2022/15969, ISBN:978-977-94-2720-1 [English language],

24- " أسس و قواعد المعادلات في تبسيط علوم فيزياء الرياضيات", Authored and Collected by Aly Saeed and *Yahia Hamdy Elbashar,* [Arabic language], دار الربيع للنشر والتوزيع, 2021/15092, ISBN: 978/977-90-9113-6

25- "Serpent in Ancient Mesopotamia", Authored and Collected by Omnia

Mohamed and *Yahia Elbashar,* [English language], دار الربيع للنشر والتوزيع, 2021/15093, ISBN: 978/977-90-9114-3

26- موضوعات في تبسيط العلوم الفيزيائية " الحديثة", *Yahia Elbashar* ,[Arabic language], دار الربيع للنشر والتوزيع, 2021/15094, ISBN: 978/977-90-9115-0

أ.م.د يحيى حمدي محمد إبراهيم البشار

أستاذ الفيزياء المساعد، وعضو اللجنة الوطنية للفيزياء بأكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا بالقاهرة، وخبير تكنولوجيا الليزر بنقابة المهن العلمية بالقاهرة، وعضو سابق بمجلس شعبة الطبيعة والفلك لمجلس نقابة المهن العلمية بالقاهرة بجمهورية مصر العربية.

يُعدُّ من الباحثين المهتمين بتبسيط العلوم ونشر الثقافة العلمية، وقد أثرى المكتبة العربية بعدد كبير من المؤلفات والدراسات التي تجاوزت ثلاثين كتابًا في مجالات الفيزياء والعلوم التطبيقية، وطرائق التدريس والتعليم الجامعي، وإدارة المعرفة، وضمان الجودة والاعتماد الأكاديمي، وريادة الأعمال، إلى جانب مؤلفات في تبسيط العلوم للأطفال، والآثار والحضارات القديمة، والطاقة الشمسية والزراعة المائية، فضلاً عن عدد من المراجع والمحاضرات العلمية باللغة الإنجليزية.

تتميَّز أعماله بالسعي إلى بناء جسور بين المعرفة العلمية والتطبيقات الحياتية، وإتاحة العلوم بأسلوب مبسط يجمع بين الدقة الأكاديمية وسهولة العرض.